© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. , **92**, Heft 1, Freiburg 2002

Die Erzlagerstätte Schauinsland bei Freiburg im Breisgau

Bergbau, Geologie, Hydrogeologie, Mineralogie, Geochemie, Tektonik und Lagerstättenentstehung

Wolfgang Werner, Hans Joachim Franzke, Gunther Wirsing, Johannes Jochum, Volker Lüders und Jens Wittenbrink
mit einem Beitrag von
Berthold Steiber

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Inhaltsverzeichnis

1.	**Einleitung, Erforschungsgeschichte**	4
2.	**Bergbaugeschichte und Besucherbergwerk**	14
3.	**Der geologische Rahmen der Lagerstätte**	23
3.1	**Die Nebengesteine**	23
3.2	**Kristallintektonik**	25
4.	**Hydrogeologie des Bergbaugebietes am Schauinsland**	30
4.1	**Vorbemerkungen**	30
4.2	**Grundwasserführung, Grundwassernutzung**	30
4.3	**Hydrochemie**	34
4.4	**Grundwasserdargebot**	36
5.	**Die Erz- und Mineralgänge**	36
5.1	**Übersicht**	36
5.2	**Zusammensetzung und Erscheinungsbild der Hydrothermalgänge**	42
5.3	**Chemische Zusammensetzung der Erze**	47
5.4	**Flüssigkeitseinschlüsse und Isotope**	54
5.5	**Kohlenwasserstoffe**	58
6.	**Tektonik der Lagerstätte**	60
6.1	**Gangstörungen, Erz- und Mineralgänge**	60
6.2	**Ruschelstörungen**	70
7.	**Geochronologische Untersuchung an Illiten der Ruschelstörungen**	72
8.	**Zur Entstehung der Erzgänge**	75
Danksagung		83
Angeführte Schriften		83
Farbtafeln		95
Preisliste der lieferbaren Hefte		113

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **92**, Heft 1, S. 1 110, Freiburg 2002

Die Erzlagerstätte Schauinsland bei Freiburg im Breisgau

Bergbau, Geologie, Hydrogeologie, Mineralogie, Geochemie, Tektonik und Lagerstättenentstehung

Wolfgang Werner, Hans Joachim Franzke, Gunther Wirsing,
Johannes Jochum, Volker Lüders und Jens Wittenbrink
mit einem Beitrag von
Berthold Steiber

Blei-Zink-Erzgänge, Schwarzwald, Grundgebirge, Oberrheingraben, Tektonik, Mineralisation, Geochemie, Flüssigkeitseinschlüsse, Geochronologie, Hydrogeologie, Bergbaugeschichte, Besucherbergwerk;

Schwarzwald, Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald, TK 50 Nr. L 8112 Freiburg i. Br.,

TK 25 Nr. 8013 Freiburg i. Br.-Südost

Zusammenfassung

Im Kristallin des südlichen Zentralschwarzwalds liegt das nach dem1284 m hohen Bergmassiv benannte historische Erzbergwerk „Schauinsland" In diesem größten Bergwerk des Schwarzwalds, dessen Silber im Mittelalter eine große Rolle für die Stadt Freiburg spielte, wurden bis 1954 Zink- und Bleierze abgebaut. Insgesamt dürfte die Ganglagerstätte rund 2–2,5 Millionen Tonnen Erz mit einem Metallgehalt von 7 % Zink und Blei (im Verhältnis 10 1) und 0,08 % Silber enthalten haben. Rund die Hälfte der Erzvorräte wurde abgebaut. Das bis 900 m unter Tage reichende Grubengebäude mit seinen rund 100 km Stollen und Strecken gehört ebenso wie das auf Zink, Blei und Silber verliehene Bergrecht seit 1970 der Gemeinde Freiburg-Kappel, für die das umfangreiche Stollen- und Schacht-

Anschriften d. Verf.:
Dipl.-Geol. Dr. W. WERNER & Dipl.-Geol. Dr. G. WIRSING, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Albertstr. 5, D-79104 Freiburg i. Br.;
Dipl.-Geol. Dr. H. J. FRANZKE & Dipl.-Geol. J. WITTENBRINK, Institut für Geologie und Paläontologie, TU Clausthal, Leibnizstr. 10, D-38768 Clausthal-Zellerfeld;
Dipl.-Geol. Dr. J. JOCHUM, Institut f. Mineralogie & Lagerstättenlehre, Wüllnerstr. 2, D-52056 Aachen;
Dipl.-Geol. Dr. V. LÜDERS, GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, D-14473 Potsdam;
B. STEIBER, Oberlinden 16, D-79098 Freiburg i. Br.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

system der Grube ein potenzielles Trinkwasserreservoir darstellt. Nach 20jährigen Aufwältigungs- und Erforschungsarbeiten eröffnete 1997 das private „Museums-Bergwerk Schauinsland", in dem das denkmalgeschützte historische Erzbergwerk besichtigt werden kann. Die große Zahl von Besuchern – seit 1997 über 50.000 – macht deutlich, welch großes Interesse dem alten Bergbau und den Erzlagerstätten des Schwarzwalds entgegengebracht wird.

Die zahlreichen, steil nach Westen einfallenden Quarz-Schwerspat-Karbonatgänge mit Zinkblende und Bleiglanz sind Teil eines parallel zum Oberrheingraben verlaufenden Störungssystems, das die Gneise und Anatexite des Schauinsland–Feldberg-Horsts durchsetzt. In der umfangreichen Literatur über die Erz- und Mineralgänge des Schwarzwalds wurde die Vererzung am Schauinsland bis 1929 als tertiärzeitlich angesehen und mit der Bildung des Oberrheingrabens in Zusammenhang gebracht, danach hielt man sie für oberkarbonisch bis permisch und sah sie als Produkt aus magmatischen Restlösungen an, die während der Abkühlung der Südschwarzwälder Granitplutone frei geworden waren. Die in den letzten Jahren durchgeführten strukturgeologischen, geochemischen und geochronologischen Untersuchungen auf den wieder zugänglichen Lagerstättenaufschlüssen führten zu folgenden Ergebnissen: Die Hydrothermalgänge sind auf SSW–NNE streichenden Störungen entstanden, die durch rechtsseitige Blattverschiebungen geöffnet wurden. Zumindest einige der Gangstörungen gingen durch Reaktivierung aus bereits variszisch angelegten, d. h. ca. 350 Mio. J. alten Brüchen hervor. Bei der Gangtektonik wurden die zahlreichen im Zeitraum Unterjura bis Oberkreide gebildeten Ruschelstörungen versetzt, z. T. auch in die Gangstörungen eingeschleppt. Die in der Zinkblende nachgewiesenen Erdöleinschlüsse mit Signatur der während des Oligozäns im Oberrheingraben abgelagerten Pechelbronner Schichten deuten auf eine Vererzung im Jungtertiär hin, strukturgeologische Daten erlauben eine Einengung auf das frühe Miozän (ca. 20 Mio. J.). In dieser besonders aktiven Phase der Oberrheingrabentektonik wurden Störungssysteme im Grundgebirge in Folge der gebirgsbildenden Prozesse im Alpenbogen reaktiviert, erweitert und tiefreichend geöffnet. Auf den Spalten erfolgte die Mischung von heißen, metallführenden Tiefenlösungen, hochsalinaren, Kohlenwasserstoff-führenden Formationswässern aus dem Oberrheingraben und sauerstoffreichen Oberflächenwässern. Im ausgehenden Miozän wurden die Erzgänge nach einer Änderung der tektonischen Einengungsrichtung von ursprünglich NE–SW auf NNW–SSE durch geringfügige Linksseitenverschiebungen betroffen; in dieser Phase sinistraler Blattverschiebungen entstanden wahrscheinlich die Mineralgänge bei Badenweiler, St. Ulrich, im vorderen Münstertal, im Suggental und im Revier Freiamt–Sexau, die ihren Metallgehalt ebenfalls aus hochsalinaren Alterationslösungen aus dem Kristallin bezogen haben.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

The Zn-Pb deposit of the Schauinsland massif near Freiburg im Breisgau – mining history, geology, hydrogeology, mineralogy, geochemistry, structural geology, and genesis

Wolfgang Werner, Hans Joachim Franzke, Gunther Wirsing, Johannes Jochum, Volker Lüders and Jens Wittenbrink, with a contribution by Berthold Steiber

Abstract

The zinc-lead deposit „Schauinsland" is situated in the crystalline basement of the Black Forest near Freiburg, SW Germany. The numerous hydrothermal veins contain about 2–2.5 Mio. t of ore with 7 % Zn + Pb, and 0,08 % Ag; nearly half of them were mined from the summit of the Schauinsland massif (1284 m a. s. l.) to a depth of about 900 m from the 13th century until 1954. The mine consists of 22 levels with about 100 km of adits and underground workings. It now belongs to the city of Freiburg, to which the huge underground workings represent a potential water reservoir. After 20 years of exploratory work the private underground museum Schauinsland was opened in 1997. The large number of visitors since that time (more than 50000) document the great public interest in the historic mining and the ore veins of the Black Forest.

The numerous steeply W-dipping hydrothermal veins of the deposit are part of a fault system oriented parallel to the Upper Rhine graben. The mineralization consists of sphalerite and galena hosted in quartz, barite, calcite and minor dolomite gangue. Until 1929 the ore forming hydrothermal activity was assumed to be related to the Tertiary graben tectonism, then it was considered a product of the cooling of the Upper Carboniferous granite plutones of the southern Black Forest. The structural, geochemical and geochronological studies carried out in the past years led to the following results: the veins were formed upon a SSW–NNE trending fault system which opened during dextral oblique strike slip. At least some of the faults represent reactivated failures of Variscan age. During synhydrothermal strike-slip faulting E–W trending cataclastic zones with fault gouge (the illite of which could now be determined to be of Jurassic to Cretaceous age) were transsected and dislocated. This documents that the Zn-Pb veins formed in late Mesosoic or later times. Hydrocarbons found in fluid inclusions in sphalerite have the geochemical characteristics of the Oligocene Pechelbronn beds of the Upper Rhine graben. A favourable direction of maximum tectonic stress leading to dextral wrench faulting along NNE–SSW trending faults existed during in the early Miocene (SW–NE directed compression). The proposed genetic model says that during this early Miocene period of accelerated graben tectonism

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

hot metalliferous basement brines, higly saline hydrocarbon-bearing formation waters and oxygen-rich surface waters were mixed within the extensional sectors of the strike-slip faults leading to mineralization. In late Miocene times the maximum tectonic stress (as a result of the alpine orogeny) changed from SW–NE to SSE–NNW (150 °) resulting in left-lateral faulting along NNE–SSW-oriented fractures. It is likely that during this time the hydrothermal veins near Badenweiler, St. Ulrich, in the western Münster valley, at Suggental and in the Freiamt-Sexau mining district were formed. These veins in the crystalline basement of the Black Forest and the covering sedimentary strata are genetically related to left-lateral faulting along the Upper Rhine graben margin.

1. Einleitung, Erforschungsgeschichte

Beim südöstlich von Freiburg i. Br. gelegenen Schauinsland handelt es sich um ein bis 1284 m hohes Massiv aus Grundgebirgsgesteinen, das landschaftlich zum Südschwarzwald, im geologisch-tektonischen Sinne aber noch zum Zentralschwarzwälder Gneiskomplex gerechnet wird (Abb. 1–3). Hier, im „Hausberg" Freiburgs, fand bis 1954 und damit über einen Zeitraum von mehr als 800 Jahren Erzbergbau statt. Der komplizierte Bau der Lagerstätte mit ihren zahlreichen Einzelgängen (Abb. 4 und 5), aber auch technische, wirtschaftliche und politische Veränderungen gestalteten den Erzbergbau am Schauinsland stets schwierig und aufwendig. Heute sind Teile dieser bedeutenden Erzlagerstätte im 1997 gegründeten „Museums-Bergwerk Schauinsland" wieder zugänglich.

Der Bergbau im Schauinsland hat das größte Grubengebäude des Schwarzwaldes geschaffen (Abb. 5). Von den bis 1954 aufgefahrenen rund 100 km Stollen, Strecken und Schächten des bis 900 m untertage reichenden Bergwerks sind bis heute durch die als „Forschergruppe Steiber" bekannt gewordene private Arbeitsgemeinschaft wieder etwa 30 km der geologischen Aufnahme zugänglich. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die Gangerzlagerstätte mit modernen strukturgeologischen und mineralogisch-geochemischen Methoden eingehend untersuchen zu können. Unsere Arbeitsgruppe nutzte diese Chance zur untertägigen Kartierung und Probenahme im Zeitraum 1996–2001.

Aufgrund der morphologischen Situation kann der große Tiefenaufschluß auf den Erz- und Mineralgängen noch heute gut untersucht werden: Erst bei ca. 380–430 m NN ist das Niveau der Vorfluter in den schottererfüllten jungen Tälern bei Oberried und Kirchzarten (Dreisamtal) erreicht, weshalb der größte Teil des Grubengebäudes ohne nennenswerte Wasserhaltung betrieben werden konnte und somit auch heute nicht „abgesoffen" ist. Dies unterscheidet die Grube Schauinsland ganz wesentlich von den anderen, z. T. auch in Besuchergruben zugänglichen Ganglagerstätten in der näheren und weiteren Umgebung (z. B. die bis 1958 bzw. 1974 betriebenen Gruben Teufelsgrund im Münstertal und Finstergrund bei Wieden, mittelalterliche Gruben Anna im Suggental und Caroline bei Sexau). Die tiefste Sohle, die derzeit problemlos erreicht werden kann, ist die Leopoldsohle bei rund + 840 m NN. Von der 6. Feldstrecke über der Kapplersohle aus können Abbaue knapp unterhalb des Schauinslandgipfels (ca. 1250 m NN) erreicht werden. Der zur Untersuchung zugängliche Bereich weist also derzeit eine vertikale Erstreckung von rund 410 m auf.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

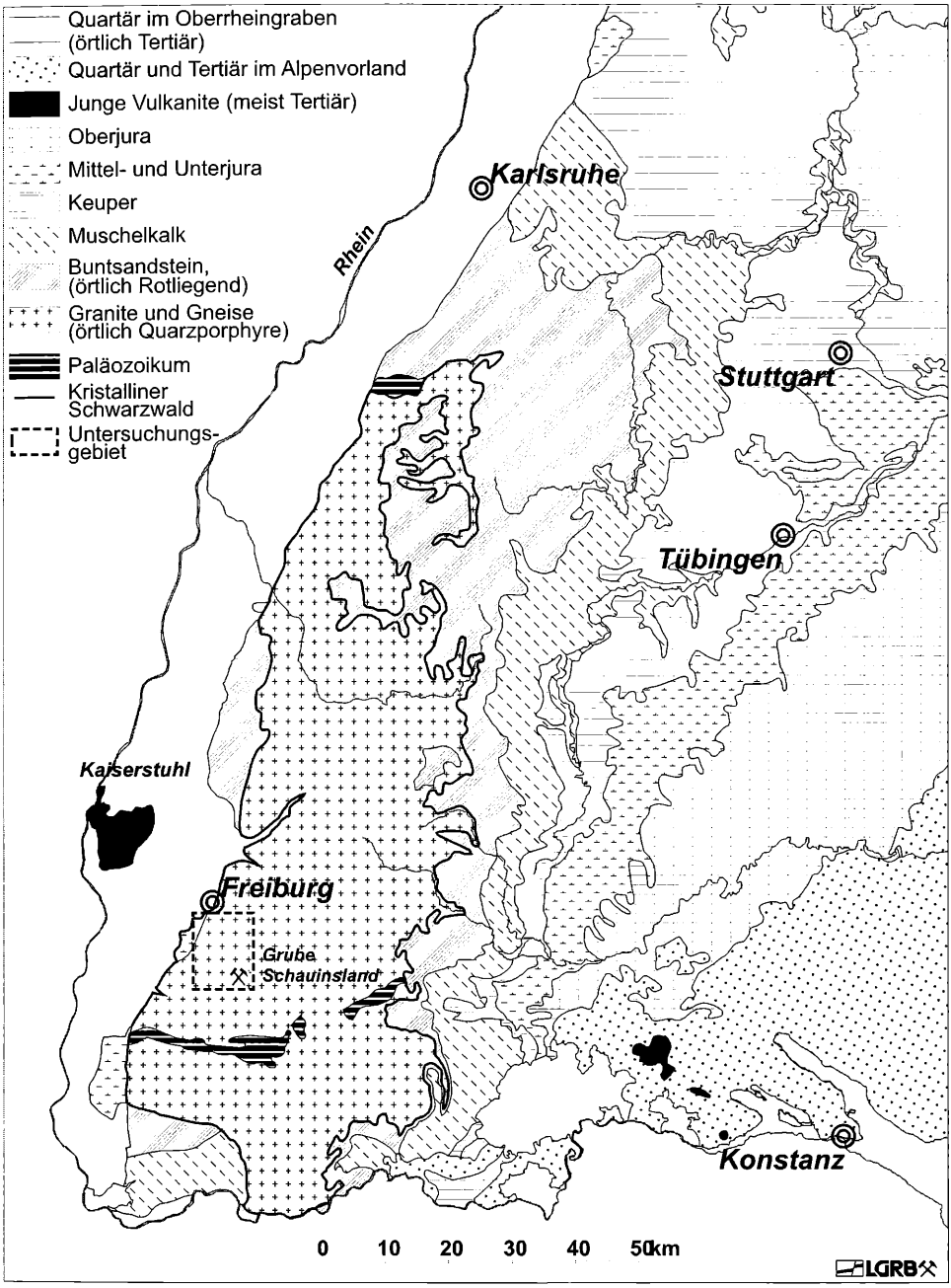


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte von Südwestdeutschland zwischen dem Oberrhein und dem Bodensee mit Lage des Untersuchungsgebiets südlich von Freiburg im Breisgau (s. Abb. 2 und 4). Grundlage: digitale Geol. Kt. von Baden-Württ. 1 : 500.000 (LGRB).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Erforschungsgeschichte: Aufschlussreich ist ein Rückblick auf die Geschichte der geowissenschaftlichen Erforschung dieser berühmten Lagerstätte, insbesondere im Hinblick auf die unterschiedlichen Entstehungsmodelle. Von Bedeutung ist die Alterseinstufung der Vererzung nicht nur aus lagerstättenkundlicher, sondern auch aus geologisch-tektonischer Sicht. Auf Basis der richtigen zeitlichen Einstufung der häufigen Erz- und Mineralgänge im Grundgebirge lassen sich vielfach auch andere Gesteine und Strukturen im Gneis und Anatexit relativzeitlich datieren.

Die erste „geognostische" Arbeit über die Erzgänge des Schauinslands legte IMMANUEL LANG (1903) mit seiner an der Freiburger Universität eingereichten Dissertation „Beiträge zur Kenntnis der Erzlagerstätte am Schauinsland" vor. Zu Alter und Genese führt er aus (S. 37 ff): „Das Spaltensystem des Schauinslandes hat wie das des Münstertales im großen und ganzen die Streichrichtung NNE. Diese Richtung fällt mit derjenigen der großen Schwarzwaldverwerfung zusammen, welche die Vorberge des Schwarzwalds von dem eigentlichen Gebirge trennt. Da wir nun wissen, dass das Rheintal längs dieser Verwerfung abgesunken ist, so erscheint es wahrscheinlich, dass die Bildung der Gangspalten mit der Herausbildung dieses Systems in Zusammenhang zu bringen ist, wodurch die mutmaßliche Entstehung dieser Gänge in die tertiäre und spätere Zeit verlegt wird" Die Erze führt er auf aufsteigende Thermalwässer zurück, die ihren Metallgehalt aus der Tiefe oder aus dem Nebengestein aufgenommen haben. Wenige Jahre später veröffentlicht der Bergingenieur FRIEDRICH SCHUMACHER in der in Berlin erscheinenden Zeitschrift für praktische Geologie die erste ausführliche Arbeit, die sich auch mit der Tektonik und Geochemie der Gänge befasst. Seine Arbeit wurde, besonders hinsichtlich der genetischen Deutungen, von den zahlreichen späteren, hauptsächlich mineralogisch-petrographischen Bearbeitern der Südschwarzwälder Erzgänge zumeist heftig abgelehnt. Zunächst stellte er fest, dass die Gänge keine Anzeichen für parallel zum Oberrheingraben verlaufende bedeutende „Verwerfungsklüfte" (Abschiebungen) aufweisen. „Vielmehr hat man es nur mit Zerreißungsklüften zu tun, welche – unter dem Einfluß einer von der Seite her wirkenden Kraft – bei dem Rheintaleinbruch entstanden" (SCHUMACHER 1911: 44). Er hatte also im Prinzip erkannt, dass es sich um Blattverschiebungen handelt. SCHUMACHER führte diese auf ein „schwach aufwärts gerichtetes Hinübergleiten" des Grundgebirges am Schwarzwaldrand über die bereits abgesunkenen tektonischen Schollen im Graben zurück. „Da hierbei die stärksten Spannungen naturgemäß in den Teilen entstehen mußten, wo die Sprunghöhe der ganzen Rheintalverwerfung am größten war, so erklärt sich hieraus auch die Tatsache, dass gerade im höchsten Teile des Gebirges – zwischen Feldberg, Belchen und Schauinsland – die meisten Erzgänge aufsetzen. Diese Annahme macht es auch wahrscheinlich, dass nicht die verhältnismäßig geringeren Verschiebungen schon zur Oligocänzeit, sondern erst die gewaltigen Abbrüche in der nachfolgenden Miocänperiode die unmittelbare Ursache zum Aufreißen dieser weitausgedehnten Spaltenzüge geworden sind" (SCHUMACHER 1911: 44).

Prof. M. HENGLEIN (TH Karlsruhe) widmete den „Zink-Bleierzlagerstätten am Schauinsland (Erzkasten)" in seinem Buch über die Erz- und Minerallagerstätten des Schwarzwalds ein umfangreiches Kapitel (HENGLEIN 1924: 38–63). Seine Ausführungen lassen erkennen, dass die Diskussion über das Alter der Erzgänge zwischen Münstertal und dem Schauinsland zu dieser Zeit in vollem Gange war. Zwar leuchtet ihm ein tertiärzeitliches Alter der Gänge ein – zumal ein Hineinsetzen vieler Mineralgänge in die Porphyre des Münstertales und in die mesozoischen Sedimente an der Randstörung bekannt ist –, jedoch ver-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

mutet er mit Hinweis auf die Beobachtung von A. SCHMIDT (1887/1889) im Münstertal (wonach NE gerichtete Gänge älter seien als NNE verlaufende), dass es alte, vielleicht an die karbonische Granitintrusion gebundene, und junge, durch das tertiärzeitliche Aufreißen der alten Gangspalten entstandene Gänge gibt.

Auch A. MOOS (1925) befaßte sich mit der „Bildung der Schwerspat- und Erzgänge längs des Rheintalgrabens" und geht auf die Überlegungen HENGLEINs zu einem karbonischen oder tertiären Alter der Erzgänge ein. Er stellt auch fest, dass erzreiche Schwerspatgänge sowohl in die permischen Quarzporphyre des Münstertales als auch in die mesozoischen Sedimente der Vorbergzone hineinsetzen und dass sich die „vermeintlich carbonischen" des Schauinslands nicht wesentlich von den nachgewiesen tertärzeitlichen (z. B. Badenweiler) unterscheiden. „Wären die Gänge nun hauptsächlich carbonischen Alters, so wäre kaum zu begreifen, dass sie durch die so mannigfaltigen späteren Dislokationen nicht stärker betroffen wurden. So spricht eine Reihe von Gründen entschieden für das tertiäre Alter der betreffenden Lagerstätten" (MOOS 1925: 285). K. G. SCHMIDT vom Geologisch-paläontologischen Institut der Univ. Freiburg stellt im folgenden Jahr ebenfalls fest, dass die Bruchtektonik der Erzgangbildung am Schauinsland postkarbonisch sein müsse, da die Gänge alle tektonischen Strukturen und die Ganggranite durchschlagen. „Nur an ganz wenigen Stellen ist eine unbedeutende, jüngere Tektonik zu beobachten" (SCHMIDT 1926: 179). Aufgrund einer Reihe geologischer Überlegungen (keine Sedimentbrekzien des Deckgebirges in den Erzgängen, Abtragungsgeschichte des Deckgebirges über dem Kristallin, Geomorphologie am Schauinsland, Anschnitt der Erzgänge durch die Gipfelregion) folgert er, das die Erzgänge zwischen Mittelmiozän und Pliozän entstanden sind. Diese Einstufung verblüfft angesichts ihrer zeitlichen Genauigkeit, wie unsere mit Hilfe von modernen geochemischen und strukturgeologischen Methoden erzielten Ergebnisse bestätigen (Kap. 5–7).

Einen grundlegenden Wandel in den Genesevorstellungen bewirkte der Mineraloge HANS SCHNEIDERHÖHN, der zuvor an der Univ. Gießen und der TH Aachen Professor war und ab 1926 die Leitung des Mineralogischen Instituts der Univ. Freiburg übernahm. Das Manuskript zu einem Vortrag, den er 1928 im Fachausschuss für Erzaufbereitung in Freiburg gehalten hatte, veröffentlichte er 1929 in der Zeitschrift „Metall und Erz" (SCHNEIDERHÖHN 1929), dem Vorgänger der heutigen „Erzmetall" SCHEIDERHÖHNs Modell geht, wie er mehrfach in seinem Beitrag ausführt, vor allem auf die Auswertung von Schriften und Manuskriptkarten zurück. Die Gänge, die damals von der Bergbau AG Lothringen abgebaut wurden, waren ihm jedoch gut bekannt. So stellt er – wie alle anderen Autoren vor und nach ihm – fest, dass die zahlreichen in der Lagerstätte auftretenden sog. Lettenklüfte und Ruschelzonen „zweifellos älter als die Vererzung sind" (SCHNEIDERHÖHN 1929: 4). Er beobachtete auch, dass es Pseudomorphosen von Quarz nach Flußspat neben geringen Mengen an Flußspat gibt. Zum Alter der Lagerstättenbildung führt er aus: „Das Alter der Erzgänge wurde in der letzten Zeit von manchen Autoren als tertiär, sogar als frühtertiär aufgefaßt, zumeist wegen der Parallelität der Gangspalten mit der Hauptrheintalspalte. Diese Meinung ist sicher falsch. Denn einerseits sind nord–südlich bis nordost–südwestlich gerichtete Spalten und Strukturfugen im Gneis des südwestlichen Schwarzwalds weit verbreitet. Sie sind..... präkulmisch angelegt und beeinflußten aufs stärkste den Intrusionsmechanismus der granitischen Gesteine und ihrer Nachschübe. Diese Richtungen sind also im ganzen südlichen Schwarzwald als Unstetigkeitsklüftungen seit dem Karbon vorhanden

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

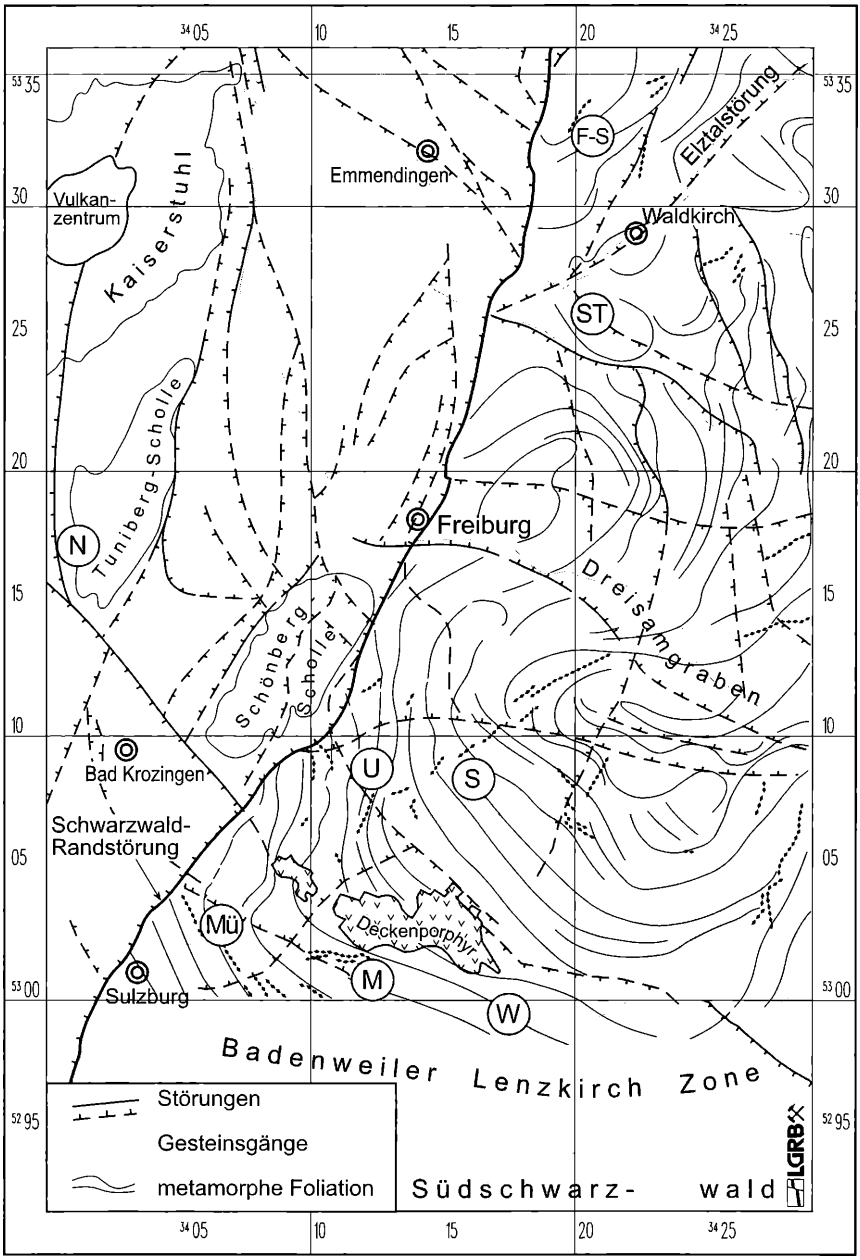


Abb. 2: Tektonische Karte des südlichen Zentralschwarzwalds zwischen Elztalstörung und Badenweiler–Lenzkirch-Zone und des angrenzenden Oberrheingrabens mit Darstellung wichtiger Strukturelemente (Störungen, Magmatitgänge, Gneisfoliation). Im Text erwähnte Lokalitäten (von N nach S): FS = Revier Freiamt–Sexau, ST = Suggental, N = Niederrimsingen, Tuniberghöhle, U = St. Ulrich, S = Schauinsland, Mü = Münstertal, M = Muldental, W = Wiedener Revier. Nach HÜTTNER (1996), VILLINGER (1999), SAWATZKI & HANN (2000) und eigenen Daten.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

gewesen und nicht erst durch den Rheintalgrabeneinbruch entstanden. Andererseits haben die Schwarzwälder Erzgänge völlig den Charakter von normalen intrusiv-hydrothermalen Gängen, wie sie tausendfach in aller Welt im Gefolge granitischer Intrusiva auftreten.",„Ihr Auftreten als Ausklang der intrusiv-magmatischen Phase ist logisch und allgemein verbreitet. Wahrscheinlich ist die Hauptvererzung älter als die Extrusion der Porphyre, da an verschiedenen Stellen im Schwarzwald die Erzgänge in die Porphyre nicht mehr hinaufsetzen. Endlich spricht auch noch gegen das tertiäre Alter des Hauptinhalts der Erzgänge des Schwarzwalds, dass gar kein Magma vorhanden ist, aus dessen Entgasung sie abgeleitet werden könnten."

Diese Argumentation stützt sich auf die Beobachtung, dass viele N–S bis NE–SW streichende tektonische Strukturen präkarbonisches Alter haben, um eine andere zeitliche Einstufung für die Vererzung und damit die Modelle älterer Autoren insgesamt zu verwerfen. Ein tektonisches Wiederaufleben alter Brüche durch die tertiärzeitliche Grabenbildung wird nicht in Erwägung gezogen, obwohl die landschaftsprägende Kraft dieser jungen tektonischen Vorgänge offensichtlich war. Ausgehend von der Allgemeingültigkeit des Modells der magmatischen Differentiation und der Entstehung von hydrothermalen Restlösungen wird mit der unbelegten Behauptung, dass intrusiv-hydrothermale Erzgänge „tausendfach" auftreten und ganz allgemein verbreitet sein, jede andere Genesevorstellung abgelehnt. Der Autor verweist jedoch auch auf die großen Kenntnislücken im Zusammenhang mit den Erzgängen des Schwarzwalds.

Die in den folgenden Jahren durchgeführten zahlreichen erzmikroskopischen Untersuchungen von Doktoranden am von SCHNEIDERHÖHN geleiteten Mineralogischen Institut der Freiburger Universität brachten zwar viele Detailerkenntnisse zur Mineralogie, aber keine neuen Belege für sein genetisches Modell. Zunächst läßt SCHNEIDERHÖHN durch den Aachener Bergingenieur ANTON KREUTZWALD die Erzgänge ausführlich mineralogisch untersuchen (KREUTZWALD 1935). Dieser postuliert mit gleicher Argumentation ein karbonisches Alter der Erzgänge, da nur im Karbon die „nötigen" Granitmagmen zur Verfügung gestanden seien. Ein Wiederaufreißen der Gänge im Tertiär mit Bildung von späten Quarzmineralisationen und Schwerspat hält er aber für wahrscheinlich. Auch DIETER HOENES, der sich als SCHNEIDERHÖHNs Schüler mit den Erzlagerstätten zwischen Schauinsland, Belchen und dem Untermünstertal befasste, war von einer oberkarbonischen Bildung der Erzgänge fest überzeugt. Dies hatte für die zeitliche Einstufung tektonisch-magmatischer Ereignisse im Münstertal Konsequenzen: „Maßgeblich für die Einordnung der intrusiven Quarzporphyre in die Ottweiler Stufe des Oberkarbons war die bereits hervorgehobene Tatsache, dass diese von den Erzgängen durchschnitten werden, während dies bei den Deckenporphyren niemals der Fall ist. Nimmt man für die Deckenporphyre in Analogie zu anderen permischen Deckenergüssen des Mittel- und Nordschwarzwalds mittelrotliegendes Alter an, so fällt die Bildungsphase der Erzgänge zwangsläufig in das untere Rotliegende bzw. in die Wende Karbon–Perm, während für die intrusiven Quarzporphyre oberkarbones Alter angenommen werden muß" (HOENES 1937: 284). Aufgrund der Beobachtung, dass die als „herzynische Bildungen" betrachteten Ruscheln am „magmenferneren" Schauinsland älter als die Erzgänge sind, da sie von diesen durchschlagen und versetzt werden, folgerte er auch, „dass die hercynische Bruchbildung innerhalb der Schauinslandmasse schon im Oberkarbon einfror" (HOENES1937: 337). Für die relativzeitliche Einstufung bedeutender geologischer Körper und Strukturen ist also die Kenntnis der Entstehungsalter der Erzgänge von

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

großer Bedeutung. Das Dogma eines variszischen Alters wurde von HOENES auch nicht angezweifelt, als er erkennen mußte, dass die im Quarzporphyr östlich von Staufen auftretenden Erzgänge im Amselgrund die Schwarzwaldrandverwerfung durchsetzen. Die dadurch belegte tertiärzeitliche Hydrothermalmineralisation mußte als „späte Mineralzufuhr von der Rheintalspalte aus im Tertiär" mit Umlagerung der (älteren Erze) gedeutet werden (HOENES 1937: 314). Der 2. Weltkrieg verhinderte zunächst weitere Arbeiten.

Anfang der 50er Jahre wurden durch Geologen und Mineralogen der Universität Freiburg die Arbeiten im Münstertal wieder aufgenommen; Kurt v. GEHLEN begann als erster mit Arbeiten zwischen Belchen und der Badenweiler–Lenzkirch-Zone, worüber er zuerst in den Berichten der Naturforschenden Gesellschaft (v. GEHLEN 1953), dann im Neuen Jahrbuch f. Mineralogie (v. GEHLEN 1955) berichtete; später wird er das Problem wieder aufgreifen (s. u.). KARL SEHLKE, der bei SCHNEIDERHÖHN 1954 über die Pb-Zn-führenden Flußspatgänge zwischen Feldberg und Belchen arbeitete, veröffentlichte danach in der gleichen Zeitschrift im Jahr 1956 eine Zusammenfassung seiner Arbeit: Seine Alterseinstufung der Vererzung – die von der Richtigkeit einer „magmatisch-hydrothermalen" Genese nach SCHNEIDERHÖHN ausgeht – gründet sich auf folgende Überlegung: „Die Erzgänge sind jünger als die granitporphyrische Ganggefolgschaft der Granite, da sie die Granitporphyre durchsetzen. Das Dach der Südschwarzwälder Granite wurde im Oberkarbon erodiert. Auf die oberkarbonisch-permische Landoberfläche erfolgte im Rotliegenden der Porphyrvulkanismus. Da keiner der Erz- und Mineralgänge in den Deckenporphyr übersetzt, kommt als Vererzungszeit nur das Oberkarbon in Frage" (SEHLKE 1956: 279).

Die umfangreichste Bearbeitung der Südschwarzwälder Erz- und Mineralgänge erfolgte, als durch den unerwarteten Schließungsbeschluß für die Grube Schauinsland eine Bestandsaufnahme im Rahmen der Monographien der deutschen Blei-Zink-Erzlagerstätten dringend erforderlich wurde. Der Zusammenhang mit der Abkühlung granitischer Magmen wurde weiter untersucht und die Frage aufgeworfen, welche der zahlreichen Intrusionen die Metalle gebracht haben mag. RUDOLF METZ (in: METZ et al. 1957) stellte aber fest: „Die große Zahl der Blei-Zink-führenden Mineralgänge im südlichen und mittleren Schwarzwald kann keiner der bekannten Granitintrusionen zugeordnet werden" Die zeitliche Zuordnung älterer Autoren wird aber von METZ und auch von HORST SCHÜRENBERG geteilt und sogar durch die Behauptung, dass die Mineralgänge von den Deckenporphyren abgeschnitten werden, noch untermauert. Tatsächlich fehlt jedoch eine Ortsangabe für einen so wichtigen Aufschluss, der bisher auch nirgends festgestellt werden konnte (SCHÜRENBERG präzisiert diese Behauptung in seiner letzten Arbeit, s. u.). METZ & REIN (in METZ et al. 1957: 20) fassen die herrschende Meinung wie folgt zusammen: „Das oberkarbonische Alter der hydrothermalen Gänge ergibt sich aus ihrem Verband. Die Mineralgänge durchsetzen die granitporphyrische Ganggefolgschaft der jungen Granite und alle älteren Gesteine der Hüllen. Sie sind jedoch älter als die Deckenporphyre des Mittelrotliegenden, die an mehreren Stellen unmittelbar auf dem Grundgebirgssockel liegen. Darin aufsetzende Mineralgänge werden von den Deckenergüssen abgeschnitten. In den Schuttsedimenten des Rotliegenden finden sich Gerölle aus Gangmaterial (Schwerspat, Pseudomorphosenquarz, z. T. mit Sulfidspuren). Somit hatte die permische Abtragung die Mineralgänge bereits freigelegt". Aufschlüsse, in denen ein „Abschneiden der Mineralgänge" durch den Deckenporphyr zu erkennen ist, sind jedoch auch nicht von diesem Autor beschrieben; HANSJOSEF MAUS, wohl einer der besten Kenner des Münstertäler Deckenporphyrs (vgl. MAUS 1963, 1967,

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

sowie MAUS in: GROSCHOPF et al. 1981), konnte uns ebenfalls keinen derartigen Aufschluss benennen (pers. Mitt., 1992). Gerölle mit hydrothermaler Mineralisation belegen außerdem lediglich, dass es vor dem Porphyrvulkanismus hydrothermale Vorgänge gegeben hat – sie belegen nicht, dass alle Mineralgänge das gleiche präpermische Alter haben.

Die seit SCHNEIDERHÖHN geltende, zuvor wiedergegebene Argumentation wird in nachfolgenden Arbeiten weiter übernommen (z. B. METZ 1966: 32, WIMMENAUER 1967: 46; MAUS in: GROSCHOPF et al.1981: 64); die älteren Modelle von LANG (1903), SCHUMACHER (1911), MOOS (1925) und SCHMIDT (1926) werden hingegen nicht mehr in Erwägung gezogen und in den Arbeiten meist auch nicht mehr erwähnt. Die zuvor dargestellte Altersseinstufung für die Erzgänge hatte auch weiterhin (so wie bei HOENES 1937, s. o.) Folgen für die zeitliche Einstufung anderer wichtiger Grundgebirgsstrukturen. Von allen Bearbeitern war zu berücksichtigen, dass die Mineralgänge am Schauinsland jünger sind als die Kataklasite oder „Mylonite" der als Ruscheln bezeichneten Illit-reichen Störungszonen (Kap. 6.2 und 7). Die Ruscheln durchsetzen aber vielfach auch die Ganggranite; HÜTTNER (in: GROSCHOPF et al. 1981) folgerte deshalb bei der Diskussion der Alter der tektonischen Bewegungen im Grundgebirge, dass die Ruscheln ebenfalls im Oberkarbon gebildet sein müßten (zwischen den Ganggraniten und den Erzgängen). Da auch die zahlreichen die Gneise durchsetzenden sog. Verschiebungsklüfte mit den Erzgängen im Zusammenhang zu sehen sind, schloss HÜTTNER (1981: 215): „Damit fällt die Anlage aller wichtigen Spuren bruchtektonischer Verschiebungen in das Oberkarbon". Zurückgehend auf das SCHNEIDERHÖHN'sche Dogma einer granitabhängigen Hydrothermaltätigkeit, gefestigt durch die der Lehrmeinung folgenden Arbeiten zahlreicher späterer Autoren, wurde so die Bedeutung der tertiärzeitlichen tektonischen Bewegungen im Kristallin im Zusammenhang mit der Bildung des Oberrheingrabens verkannt. Dies macht deutlich, von welcher allgemein geologischen Bedeutung die richtige zeitliche Einstufung der Erz- und Mineralgänge im Grundgebirge ist.

1982 publizierten MÖLLER, MAUS & GUNDLACH ihre Ergebnisse einer umfangreichen geochemischen Untersuchung der Flußspatgänge des Schwarzwalds. Ihre Daten belegen, dass die Südschwarzwälder Gänge nicht mit den Granitkörpern in Zusammenhang gebracht werden können. Die vorliegenden Quarz-Flußspatgänge sind ihrer Meinung nach im Tertiär entstanden, wofür die zahlreichen Remobilisationsanzeichen sprechen würden. „Zusammengefaßt ergibt sich ein recht geschlossenes Bild für die Fluoritmineralisation im Schwarzwald, wonach ältere Mineralisationen möglicherweise unter dem Einfluß metamorpher Lösungen im Tertiär umgelagert wurden. Das mögliche Alter der Primärmineralisationen könnte in Einzelfällen bis in das Oberkarbon zurückgehen, wofür geologische Argumente sprechen" (MÖLLER et al. 1982: 68). Diese geologischen, seit SCHNEIDERHÖHN wiederholten Argumente sind oben bereits ausgeführt worden.

Kritisch stand der Lehrmeinung einer variszischen Erzgangbildung seit Ende der 1960er Jahre der ehemalige SCHNEIDERHÖHN-Schüler KURT v. GEHLEN gegenüber. Die vielfältigen Bemühungen zur Unterscheidung „alter" (variszischer, also karbonisch bis permischer) und „junger" (d. h. tertiärzeitlicher) Gangvererzungen beschreiben er und Mitarbeiter des Frankfurter Instituts für Mineralogie z. B. in der Arbeit „Neue Ergebnisse zur Genese der Vererzung im südlichen Schwarzwald" (v. GEHLEN et al. 1969). Unter Berücksichtigung der zahlreichen neuen Altersdatierungen und der Studien zu Flüssigkeitseinschlüssen in hydrothermalen Mineralisationen in Mitteleuropa (z. B. BEHR et al. 1986 und

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

1987, BEHR & GERLER 1987) fasst v. GEHLEN (1987) seine Untersuchungen und Überlegungen so zusammen: „Alter und Genese der Gangmineralisationen SW-Deutschlands sind ein lange diskutiertes Problem. Aus wichtigen neuen Ergebnissen verschiedener Autoren ergibt sich, dass die meisten Gangmineralisationen mesozoisches Alter haben und mit weitreichenden Zirkulationssystemen von Formationswässern (i. w. S.) zusammenhängen dürften, die sowohl Komponenten von oben, z. T. aus salinaren Bedingungen, als auch aus dem durchströmten Grundgebirge brachten" (v. GEHLEN 1987: 87).

HORST SCHÜRENBERG, ein hervorragender Kenner des alten Bergbaus und der zahlreichen Erz- und Mineralgänge im südlichen Zentralschwarzwald und im Südschwarzwald, stellt auch in seiner letzten Arbeit über die „Erz- und Mineralgänge im Belchengebiet" die Bildung der Erzgänge zeitlich zwischen die Granitporphyre, die (nach HOENES 1937) oberkarbonisches Alter aufweisen sollen, und die unterpermische Erosionsphase, also in den Zeitraum Oberkarbon-Unterrotliegendes (SCHÜRENBERG 1989: 332). Das wichtigste Argument für das oberkarbonische Alter der Erzgänge war – wie zuvor aufgezeigt – die Behauptung, dass kein Erzgang im auf der permischen Landoberfläche aufliegenden Deckenporphyr (s. Abb. 3) bekannt geworden ist; dieser Porphyr wird seit MAUS (1963) als Ignimbrit gedeutet. SCHÜRENBERG schreibt hierzu: „Die Gänge Schindler und Teufelsgrund setzen nicht in die Ignimbrite hinein, wie auch der Tirolergrundgang (H5) nicht in die entsprechenden Ignimbrite der Etzenbacher Höhe eindringt" (SCHÜRENBERG 1989: 332). Vorsichtig fügt er hinzu: „Man wird wohl annehmen dürfen, dass die Ignimbrite jünger sind als die Erzgänge" Diese Formulierungen lassen vermuten, dass ihm nirgends ein Aufschluss bekannt war, der das behauptete Abschneiden der Erzgänge durch die Ignimbrite belegt (vgl. METZ et al. 1957: 20).

Die Vererzungen der süddeutschen Grundgebirge traten nach Ende des Erzbergbaus am Schauinsland (1954) zunächst im Zusammenhang mit der Suche nach Uran (Ende der 1950er bis Ende der 1970er Jahre), dann in den 1980er Jahren mit der Suche nach Wolfram und Gold wieder in das Interesse von Explorationsfirmen. Das wiedererwachte Interesse am alten Erzbergbau des Schwarzwalds führte ab Mitte der 1970er Jahre zur Aufwältigung zahlreicher alter Bergwerke (Teufelsgrund im Muldental, Finstergrund bei Wieden, Birkenberg bei St. Ulrich, Schauinsland, Suggental, Caroline bei Sexau usw.), wodurch die Erz- und Mineralgänge des südlichen Zentral- und des Südschwarzwalds, die in den o. g. Arbeiten beschrieben werden, wieder der Untersuchung zugänglich wurden. Die verfeinerten Methoden zur Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen brachten zunächst MITTELSTÄDT (1987) und WERNER, SCHLAEGEL-BLAUT & RIEKEN (1990) auch bei den Erzgängen des Schauinslands und bei den Wolfram-führenden Hydrothermalmineralisationen des Schwarzwalds zum Einsatz. MITTELSTÄDT (1987: 1) erkannte, dass „an der Mineralabscheidung der Schauinsland-Gänge sowohl aszendete meteorische Wässer als auch deszendente Formationswässer beteiligt waren"; er bezeichnete die Schauinsland-Gänge als „postvariszische Bildung" Bei der Untersuchung Wolfram-führender Quarzgänge fiel auf, dass sich hier sowohl variszische (hochtemperierte und niedrigsalinare) als auch post-variszische (niedrigtemperierte und mittelsalinare) Fluide in vielen Gangmineralisationen des Schwarzwalds klar unterscheiden lassen, wobei letztere auf die tertiärzeitliche Dehnungstektonik hinwiesen (WERNER, SCHLAEGEL-BLAUT & RIEKEN 1990).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

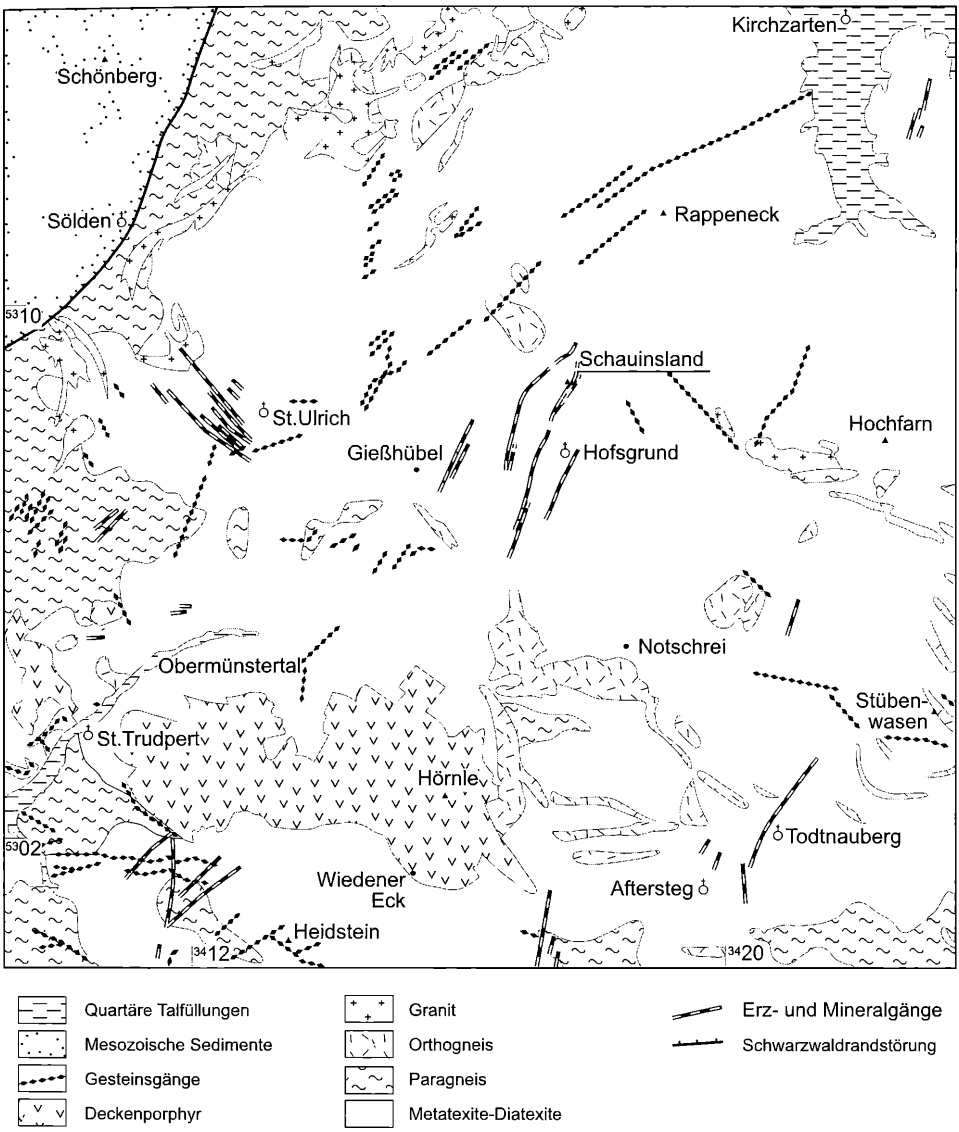


Abb. 3: Vereinfachte geologische Karte des Gebietes zwischen der Schwarzwaldrandstörung, dem Dreisam- und dem Münstertal mit Lage der Erz- und Mineralgänge sowie der Gesteinsgänge (Aplitgranite, Gangporphyre, Lamprophyre). Grundlage: GK 50 Freiburg und Umgebung (A. SCHREINER 1974).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Auf Anregung der beiden erstgenannten Autoren dieses Beitrags wurden auch die wieder zugänglichen Mineralgänge im Revier Freiamt–Sexau in das DFG-Projekt „Intraformationale Lagerstättenbildung" (Koordinator G. FRIEDRICH, Aachen) einbezogen (WERNER & FRANZKE 1993; GERMANN et al. 1994a). Zunächst zeigte die Kartierung, dass auch hier die Mineralgänge jünger sind als die ebenfalls häufigen Ruscheln und dass die Mineralgänge variszisch angelegten Störungen aufsitzen (WERNER & FRANZKE 1994). Die Altersdatierung der syntektonisch gesproßten Illite auf diesen Ruscheln erbrachten Kreide-zeitliche Alter (HAGEDORN & LIPPOLT 1994); schließlich wiesen die geochemischen und mineralogischen Untersuchungen der Gänge der Grube Caroline Kohlenwasserstoffe in den Erzgängen nach (JOCHUM in: GERMANN et al. 1994b) und die Flüssigkeitseinschluss-Untersuchungen erkannten ein dem Schauinsland verwandtes Hydrothermalsystem (LÜDERS 1994); die Gesamtheit der Untersuchungen wiesen ein jungtertiäres Alter der Erz- und Mineralgänge nördlich der Elztalstörung nach, und erste vergleichende Aufnahmen in der Grube Schauinsland zeigten, dass die Hydrothermalgangstrukturen hier eine ganz ähnliche tektonische Entwicklung erkennen lassen (WERNER 1994, 1996). Vergleichende Untersuchungen auf den Quarz-Flußspat-Gängen im Südschwarzwald erbrachten, dass die wahrscheinlichste Erklärung für die Bildung der Hydrothermalgänge eine Reaktivierung alter, oftmals variszisch angelegter Störungen im Zuge der jungmesozoisch-känozoischen Hochwölbung des Oberrheinischen Schildes und dem Einbruch des Oberrheingrabens ist (FRANZKE & WERNER 1994). Ohne eigene tektonische Aufnahmen aber gestützt auf die zuvor genannten Arbeiten des DFG-Projektes und seine geochemischen Untersuchungen postuliert WEBER (1997) ein jungmesozoisch-tertiäres Alter der Schauinslandgänge.

Durch die bewährte Kombination von detaillierter strukturgeologischer Aufnahme mit gezielter Probenahme, Altersdatierungen an den Illiten der Ruschelstörungen und fluidgeochemischen Untersuchungen konnten WERNER, FRANZKE & LÜDERS (2000) schließlich den Zeitraum für die dreiphasige Hydrothermalmineralisation am Schauinsland auf Oberkreide bis Jungtertiär einengen. Die anschließende Ausdehnung der strukturgeologischen Untersuchungen auf den grabennahen Südschwarzwald und angrenzenden Zentralschwarzwald erbrachte, dass der Schauinsland eines von vielen Gangrevieren ist, in dem durch miozänzeitliche strike-slip-Tektonik – in Folge der Fernwirkung der alpidischen Orogenese – alte Störungen tiefreichend aufreißen konnten, um so den Fluiden aus dem Kristallin Aufstiegs- und Zirkulationspfade zu bieten (WERNER & FRANZKE 2001; nähere Ausführungen erfolgen in den nachfolgenden Kapiteln). Es ist also festzustellen, dass die von LANG (1903), SCHUMACHER (1911), MOOS (1925) und SCHMIDT (1926) vorgetragene zeitliche Einstufung der Vererzung am Schauinsland nach mehr als sieben Jahrzehnten bestätigt werden kann.

2. Bergbaugeschichte und Besucherbergwerk (B. Steiber & W. Werner)

Der Erzbergbau am Schauinsland blickt auf eine über 800jährige wechselvolle Geschichte zurück. Im Folgenden sollen wesentliche geschichtliche Ereignisse und Zusammenhänge dargestellt werden, soweit sie zum Verständnis der Entwicklung des Montanreviers und der größten Grube am Oberrhein wichtig erscheinen. Ausführliche Beschreibungen der Bergbaugeschichte sind bei METZ et al. (1957), METZ (1966), SCHLAGETER (1970, 1971), PRIESNER (1982), SLOTTA (1983) und STEIBER (1986) zu finden.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Während am westlichen Schwarzwaldrand schon keltische und römische Bergleute Eisen-, Blei- und Silbererze aus den im Grundgebirge auftretenden Mineralgängen gewannen, erreichte der Bergbau erst ab dem 12. Jh. die Höhen des Schauinslands. Möglicherweise kamen die Prospektoren aus dem Obermünstertal, wo schon im 10./11. Jh. intensiver Bergbau umging (was z. B. die berühmte Urkunde von Kaiser Konrad II aus dem Jahr 1028 mit Nennung der Grube Kropbach südöstlich von Staufen nahelegt), und wurden auf vererzte Schwerspat- oder Quarzgerölle in den Talalluvionen des Neumagen und seiner Zuflüsse zwischen Gießhübel und Willnau aufmerksam; vielleicht wiesen ihnen auch die kräftig grünen Klufttapeten mit Grünbleierz (Pyromorphit, Tafel 5) im Bachgeröll oder Hangschutt den Weg. SCHLAGETER (1970) geht davon aus, dass die Erschließung des Gebietes um den Stohren zur Amtszeit des Abts Eberhard vom Klosters St. Trudpert zu Beginn des 12. Jh. erfolgte. Möglicherweise, so SCHLAGETER, ging die Initiative von den Grafen von Nimburg, den Vögten von St. Ulrich (mit dem Bergbaurevier am Birkenberg) aus, die um 1140 die Grube Brizzenberg betrieben und hier die Siedlung Wildenau am Stohren anlegten. Zu Beginn des 13. Jh. wanderte der Bergbau in südliche Richtung, wo die Grube und die Bergbausiedlung Diesselmuot[1] südwestlich oberhalb von Hofsgrund, im Bereich des Haldenhofs, entstand (Abb. 4). Hier erreichte der Bergbau im 14. Jh. seinen ersten Höhepunkt. Sogar ein ca. 4,5 km langer Hangkanal, der vom Langenbach SE des Haldenköpfles (1265 m NN) bis zur ehemaligen Erzaufbereitungsanlage unterhalb des Gewanns Poche bei Hofsgrund führt, wurde im 13./14. Jh. angelegt (HAASIS-BERNER 2001). Mit diesem sog. Steigerswuhr wurden Bach- und Niederschlagswässer gesammelt und zum Betrieb von Pochwerken genutzt.

Im geringeren Umfang wurden Pyromorphit und Bleiglanz im Bereich Willnau-Schindelmatt-Stohren auch im Zeitraum 14.–18. Jh. abgebaut, wie die Untersuchung von Verhüttungsplätzen belegt. Das Bleierz wurde mit Hilfe des Fluorits als Flußmittel („Flußspat") verhüttet (GOLDENBERG 1994), welcher vermutlich aus den Münstertäler Gruben stammte. Die in der Gipfelregion gelegene Grube „zem grinde", nach SCHLAGETER (1970: 149) identisch mit der im Testament des Freiburger Grubenbesitzers Johannes Snewelin (der „Gresser") 1347 erstmals in einem Dokument genannten Grube „Schoweslant", wurde vor 1330 angeschlagen. Um 1340 stifteten die Bergbauunternehmer dieser Grube – damals als Froner, später als Gewerke bezeichnet – dem Freiburger Münster ein Fenster (auf diesem wird die Grube „Schowinslant" genannt). Auch auf der Kappelerseite des Schauinslands muß im 13./14. Jh. umfangreicher Bergbau betrieben worden sein, wie die großen Halden in der Gipfelregion mit Keramikfunden aus dieser Zeit belegen (vgl. GOLDENBERG 1993).

Auslöser und Hauptgrund für den aufwendigen historischen Bergbau am Schauinsland war vor allem der Silbergehalt der Erze, daneben auch der Bleianteil; erst Ende des 19. Jh. erlangte das im Schauinslander Erz in viel größerer Menge auftretende Zink (Kap. 5.3) wirtschaftliche Bedeutung. Während des Mittelalters besass Silber in Mitteleuropa einen hohen Wert, da es die wichtigste Grundlage der „Schatzbildung" der Territorialherren, später des Geldwesens darstellte. Durch die Münzreform Karls des Großen wurde Silber als alleiniges Währungsmetall festgelegt (MEYERDIRKS 2001). Silbermünzen sind seit der Karolingerzeit des späten 8. Jh. im Umlauf und auch im europäischen Norden schon mindestens seit dem

1. ALBIEZ (1964: 115) nimmt an, dass der Name auf eine Familie Diessilmnot zurückgeht, die in der Bergbaustadt Todtnau ansässig war und 1288 in der Gründungsurkunde der dortigen Pfarrei genannt wird.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

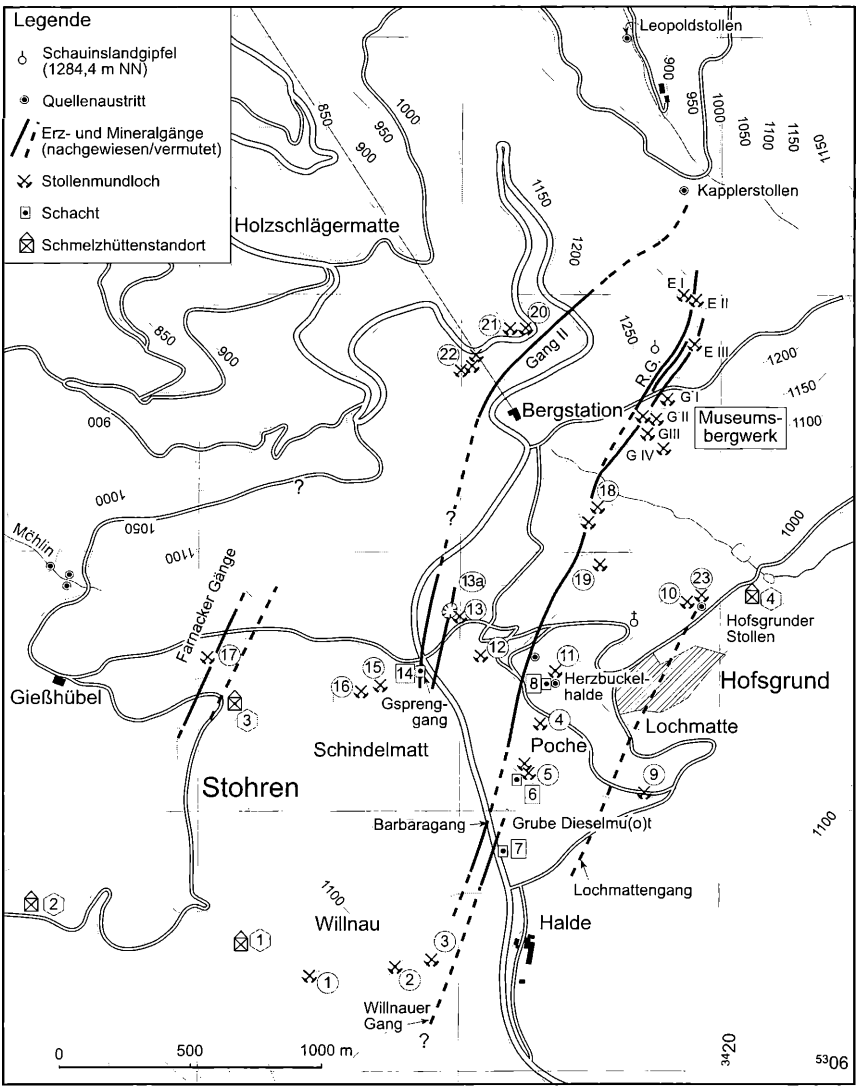


Abb. 4: Lage der Erzgänge, historischen Gruben, Pochen und Schmelzen sowie der Quellaustritte am Schauinsland (nach: SCHÜRENBERG in: METZ et al. 1957, METZ 1966, WIMMENAUER & HÜTTNER 1968, STEIBER 1986, GOLDENBERG 1994 und eigenen Aufnahmen). Stollen und Schächte: 1 Unterster Willnauer Stollen, 2 Unterer Willnauerstollen, 3 Oberer Willnauerstollen, 4 Unterer Barbarastollen, 5 Oberer Barbarastollen, 6 Tagschacht Grube Barbara, 7 Schächte a. d. Halde, 8 Schächte unterhalb Poche, Grube Barbara, 9 Bühlhofstollen, 10 Erbstollen der Grube Barbara, 11–13 Unterer/Mittlerer/Oberer Gsprenggangstollen, 13a Pingeneinbruch in den 1970er Jahren, 14 Tagschacht am Weiher, 15 +16 Schindelmatt Oberer/Unterer Stollen, 17 Farnacker/Gieshübel Stollen, 18 Rotlache, Unterer/Oberer Schanzenstollen, 19 Rotlache, südl. Stollen, 20–22 Ramselendobelstollen I–V, 23 Hofsgrunderstollen, E I–E III Erzkastenstollen I–III, G I–G IV Gegentrumstollen I–IV. Hüttenplätze: 1 Münstertal-Willnau (13./14. Jh), 2 Münstertal-Gschwand (14./15. Jh.), 3 Münstertal-Sägenbach (18. Jh.), 4 Hofsgrund (18./19. Jh.).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

9. Jh. in Gebrauch (z. B. seit 825 in der schwedischen Wikingerstadt Birka, LUDWIG 1992). Das Edelmetall Silber garantierte große Haltbarkeit der Münzen, auch wenn sie schon durch sehr viele Hände gegangen waren. Zudem war es selten und konnte nur mit dem für Bergbau- und Verhüttungstechnik notwendigen Fachwissen durch eine größere arbeitsteilige Organisation gewonnen werden, die einen sicheren und langfristigen Zugang zu Grund und Boden voraussetzte. Dadurch hatten die Territorialherren gute Möglichkeiten, die Produktion dieses wertvollen Rohstoffs zu steuern. Andererseits ist es auf zahlreichen Erzlagerstätten Mitteleuropas anzutreffen, so dass es auch an vielen Orten erzeugt werden konnte – entsprechende Investitionen und Einwilligung der Herrscher vorausgesetzt. Goldhaltige Erze hingegen wurden in Mitteleuropa erst im 13. Jh. an wenigen Orten abgebaut. Nennenswerte Goldvererzungen sind auf die Zentralalpen, das Gebiet um Goldkronach im Fichtelgebirge und um den Eisenberg bei Korbach im östlichen Rheinischen Schiefergebirge begrenzt. Seifengold war zwar schon in früherer Zeit, z. B. am Oberrhein, gefunden worden, jedoch waren die Mengen stets gering und die Ausbeute äußerst unregelmäßig.

Archäologisch und historisch belegt ist Silberbergbau im Kraichgau, im Elsaß und im Südschwarzwald (z. B. dem Münstertal) für das 8./9. Jh. (STEUER 1999, HILDEBRANDT 2001). Die ältesten bisher nachgewiesenen Siedlungsspuren in Freiburg gehen auf die Verhüttung von silberhaltigen Blei- und Kupfererzen (Bleiglanz, Fahlerze) zurück; bereits um das Jahr 1100 waren im Bereich der heutigen Grünwälderstraße Nr. 16–18 Silber und Kupfer erschmolzen worden (SCHADEK & UNTERMANN 1996). Freiburg verfügte ungefähr seit 1120 über eine eigene Münze (STEUER & ZETTLER 1996), seit 1403 war es Mitglied im Rappenmünzbund. Bemühungen um einen Münzbund am Oberrhein gab es seit 1344; bis 1584 wurde durch den Rappenmünzbund im Oberrheingebiet eine vergleichsweise stabile Währung geschaffen, die den Handel über die zahlreichen verschiedenen Herrschaftsgebiete hinweg erleichterte. Zu diesem Münzbund gehörte ein Silberbann, der besagte, dass Silber aus den Bergwerken und Hütten des Bundesgebietes nur an die Münzstätten des Rappenmünzbundes verkauft werden durfte (BREYVOGEL 2001, MATZKE 2001). Nach Schätzungen von METZ (1985) wurde im Südschwarzwald im 13./14. Jh jährlich eine Silbermenge von rund 1 Tonne erzeugt; für die Jahrhunderte davor geht die Forschung von etwa gleichen Mengen aus (WEISGERBER 1999).

Das eindrucksvollste Zeugnis des von den Erzgängen am Schauinsland, im Münstertal und im Todtnauer Revier herrührenden mittelalterlichen Bergsegens stellt das Freiburger Münster dar – die einzige gotische Großkirche in Deutschland, die noch im ausgehenden Mittelalter vollendet wurde. Diese wurde ausschließlich von der Bürgerschaft finanziert, die nach der Stadtgründung 1120 durch die Zähringer durch Handel und den aufblühenden Silberbergbau zu Wohlstand gekommen war. Im Münster sind drei Glasfenster mit Bergbaudarstellungen vorhanden. Bei diesen etwa um 1320–1340 entstandenen Fenstern handelt es sich um die ältesten Bergbaudarstellungen des deutschsprachigen Raums. Zugleich sind es auch die eindruckvollsten derartigen Darstellungen aus dem Mittelalter (BECKSMANN et al. 1996). Die z. B. im Tulenhaupt- und im Schauinsland-Fenster bei Erzabbau und -förderung detailgenau dargestellten Bergleute (Tafel 1) lieferten einerseits reichliche Geldmittel, andererseits aber auch das für den Bau so wichtige Blei (STEUER & ZETTLER 1996). Auf dem Tulenhauptfenster (1330/1340) erfolgte die erste Erwähnung der Grube „Dieselmuot" (Lage s. Abb. 4).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die Bedeutung des Grubenreviers am Schauinsland für den Breisgau zeigt sich auch daran, dass hier im Jahre 1372 die für den Oberrhein wichtige Berggesetzgebung mit dem „Dieselmuter Weistum" erfolgte (der für den alpenländischen und süddeutschen Raum bedeutsame Schladminger Bergbrief wurde später, nämlich erst 1408 verfaßt). METZ (1966: 83–84) beschreibt dieses Ereignis nach den den Archivalien so: „Am 30. Juni 1372 kam *der edel her graff Egen von Fryburg, Landgrave im Brisgaw uff den berg zuo dem Diesselmuot* und neben den angesehensten Bergleuten aus den umliegenden Revieren, aus den Bergstädten Münster und Todtnau, aus dem Glottertal und Kirchzartner Tal, waren nicht zuletzt die Bergleute vom Dieselmut selbst gekommen; dazu der Bergvogt Johannes Wirri, *vogt uf der leiti*, neben Grubenunternehmern und Rittern und viel *ander erbar lüt*." Bei diesem *droben uff der halden zuo dem Diesselmuot* entstandenen Bergweistum handelt es sich um die älteste in deutscher Sprache verfasste Aufzeichnung von Bergrechtsgewohnheiten.

Anhand der heutigen Aufschlüsse läßt sich – trotz der aufwendigen Erforschungen der letzten zwei Jahrzehnte – wenig über den Silbergehalt der im Mittelalter abgebauten Gänge am Schauinsland aussagen. Recht wahrscheinlich ist, dass die ersten Bergleute die silberreichen Sekundärerze der Zementationszone nahe der Oberfläche abbauten, welche aus der Verwitterung der primären Erze (Abb. 11–13, Tafeln 11–15) hervorgegangen waren; die Primärerze Zinkblende und Bleiglanz enthalten im Mittel 0,06 bis 0,1 % Silber (Kap. 5.2) und weisen somit die für die Schwarzwälder Blei-Zinkerzgänge typischen Gehalte auf. Man muß jedoch davon ausgehen, dass nur ein Teil dieses Silbergehalts mit den zur Verfügung stehenden technischen Mitteln zur Aufbereitung und Verhüttung gewonnen werden konnte. METZ (1966: 97) berichtet, dass nach alten Angaben aus den in der Willnau geförderten Bleierzen pro Zentner zwei Lot Silber[1] gewonnen wurden (ca. 60 g Silber pro 100 kg Erz = 0,06 %). Wahrscheinlich war der Silbergehalt der mit dem Grünbleierz vergesellschafteten, leicht zu gewinnenden und zu verhüttenden derben Bleiglanzerze des Südfelds, also des Gebietes um den Stohren und westlich Hofsgrund, das Hauptziel des mittelalterlichen Bergbaus. Bleireiche aber silberarme Sekundärerze, die ebenfalls relativ leicht zu verhütten waren (Pyromorphit, Mimetesit, Cerussit), traten auch besonders im Südfeld (Stohren) neben dem derben Bleiglanz auf und lieferten sicherlich einen weiteren wichtigen Grundstoff: Blei wurde vor allem im Bauwesen, für Fensterverglasungen, für Haushaltsgegenstände, im militärischen Bereich, zur Erzeugung von Legierungen und Farbstoffen verwendet; auch im Verhüttungsprozess war es als Silbersammler unentbehrlich (GOTTSCHALK 1999). Von dem einst umfangreichen Bergbau im Gebiet zwischen Willnau, Stohren und Hofsgrund künden heute nur noch wenige Halden (Tafel 2) und verbrochene Stollenmundlöcher. Die vorübergehende Öffnung eines auf die Farnacker Gänge angesetzten Stollens (Nr. 17 in Abb. 4) im Jahr 2000 zeigt, welche umfangreiche Bergbauanlagen sich unter der sanft welligen Wiesen- und Waldlandschaft verbergen können (Tafel 5).

NACH METZ (1966) ließen zu Beginn des 15. Jahrhunderts die Bergbauaktivitäten am Schauinsland deutlich nach. Er vermutet, dass dies auf den Mangel an Aufschlagwasser für den Betrieb der Maschinen zur Wasserhaltung und Förderung in den tiefer werdenden Gruben zurückzuführen sein könnte. Jedoch hatte man bei Todtnauberg, im Suggental und am Schauinsland im 13. und 14. Jh. umfangreiche Wässergräben und Teiche für die Beaufschlagung von Wasserrädern angelegt, mit den die Wasserpumpen zur Sümpfung der Gruben,

1. Ein Lot Silber hatte im Rappenmünzbund ein Gewicht von 14,625 g

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Fördereinrichtungen und Pochwerke betrieben werden konnten (HAASIS-BERNER 1999, 2001). Diese Techniken waren also im Schwarzwald schon lange vor anderen Montanrevieren in Gebrauch. Wie zuvor erwähnt, hatte man am Schauinsland im 13./14. Jh. das sog. Steigerswuhr angelegt. Die exponierte Lage der Schauinslandgruben an steilen Hängen ermöglichte zudem die Anlage von Wasserlösungsstollen zur effektiven Ableitung der Grubenwässer. Wahrscheinlich hat der Rückgang des Bergbaus mit den langfristigen Auswirkungen der Mitte des 14. Jh. einsetzenden Epidemien zu tun: 1348 erreichte die erste Pestwelle den Oberrhein. Bis 1352 starben durch diese Seuche, die durch den Schiffshandel aus Asien eingeschleppt worden war, rund ein Drittel der Bevölkerung (OHLER 2001).

Im 16. Jh. erlebte der Bergbau einen weiteren Niedergang. Die nach der Entdeckung Amerikas nach 1525 von dort kommenden großen Edelmetallmengen (SERRANO 1994) bewirkten das Sinken der Silberpreise und somit ein Abnehmen des Ertrages der europäischen Gruben. Im 16. und 17. Jahrhundert kam der Bergbau am Schauinsland aber auch wegen Holzmangels, häufiger Streitigkeiten mit dem Kloster Oberried und den Hofsgrunder Bauern sowie aufgrund kriegerischer Wirren (besonders während des 30jährigen Krieges) und zahlreicher Epidemien kaum voran. Ernsthafte Bemühungen zur Wiederaufnahme des Bergbaus am Schauinsland gab es erst ab 1724 wieder.

Während im Mittelalter die Silbergehalte im Erz und nur untergeordnet das Blei Ziel des Bergbaus waren, war es im 18. Jh. gerade umgekehrt. Nun war besonders das Blei von größtem Interesse, da es für zahlreiche industrielle und handwerkliche Zwecke benötigt wurde. Sein Einsatzbereich reichte von der Herstellung von Bleirohren und Gewichten über das Fensterverglasen, vielfältiger Verwendung als Bleiglätte (PbO) in der Glas- und Glasurenherstellung, über Farben bis zur Waffenindustrie.

Vor allem unter dem Eisenhüttenunternehmer und Holzhändler F. A. von LITSCHGI und seiner Familie gab es in der Zeit von 1744–1794 einen merklichen Aufschwung. LITSCHGI baute zunächst auf dem Barbara- und Gsprenggang, ab 1750 auch auf der Nordseite des Schauinslands und in den Gegentrum-Stollen oberhalb von Hofsgrund und erreichte in den Jahren 1745–1755 ein durchschnittliches Bleiausbringen von rund 50 t (METZ in: METZ et al. 1957). Doch schon gegen Ende des 18. Jh. endete diese Phase des Nachlesebergbaus. Eine Reihe von Bergbauunternehmen versuchten im 18. Jahrhundert ihr Glück (nach METZ 1966):

1730–1740	Breyßgauische Bergwerker am Stohren und Hofsgrund
1733–1794	Unternehmerfamilie Litschgi, Krozingen: Franz Litschgi bis 1753, Johann F. A. v. Litschgi bis 1786, Franz Xaver v. Litschgi bis 1794. Ab 1792 erfolgte der Betrieb unter 50 %iger Beteiligung der Vorderösterreichischen Regierung, ab 1794 völlig unter Regie des „k.k. Montan-Ärars", also unter der österreichischen Staatsvermögensverwaltung (Bergbau in Hofsgrund)
1756–1762	Bergbau unter Joseph Anton Eusebius Freiherr v. Beroldingen (Gegentrum-Stollen, Kappelertal, Ramselendobel)
1758–ca. 1782	Andreas Maderspacher & Co. (Stollen und Bergwerkshalden in der Willnau)
1785–ca. 1790	Gewerkschaft Hofsgrund
1791–1796	Untersuchungsarbeiten durch das Oberbergamt Freiburg am Stohren und der Willnau,
1789–1803	k. k. Bergwerk Schauinsland (Kappelertal).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Nach dem Übergang zu Baden berichtete die Berginspektion aus Badenweiler im Jahr 1803, dass noch 19 Stollen in und um Hofsgrund erkennbar, jedoch keine mehr befahrbar wären. Man bemühte sich mehrfach um einen Neuanfang, aber bis zum Jahr 1876, als v. ROGGENBACH seinen ersten Schürfschein für die Gemarkung Hofsgrund erwarb, blieb der Bergbau liegen. Mit Freiherr CARL v. ROGGENBACH begann nun der moderne Bergbau, welcher erstmals die bisher als wertlos angesehene und auf die Halden gekippte Zinkblende verwertete. Wie noch heute, wurde Zink in dieser Zeit außer für die Messingherstellung besonders für die Produktion von Zinkblech (für Gefäße, Rohre, Badewannen, Bedachungen, Geräte usw.), zum Verzinken von Eisen, für Druckplatten und galvanische Elemente, für Neusilber und andere Legierungen verwendet. Die durch v. ROGGENBACH 1889 begonnene Auffahrung des Kapplerstollens, der später den Schauinsland von Nord nach Süd durchqueren sollte, überstieg jedoch seine Finanzkraft. Die in Köln 1891 gegründete Gewerkschaft Schwarzwälder Erzbergwerke übernahm seine Anteile. Ab 1893 verlegte sie alle Aktivitäten auf das als besonders zinkerzreich erkannte Nordfeld am Schauinsland.

Im März 1900 begann die Produktion der Erzbergwerks Schauinsland, wobei die Erze mittels einer 1899 gebauten, 5,3 km langen Seilbahn in die bei Kappel errichtete nassmechanische Aufbereitungsanlage transportiert wurden. Bis 1923 betrieb diese Firma den Erzabbau; dann ging sie in den Besitz der Bergbau AG Lothringen (Hannover) über. Der anhaltende Preisverfall für Blei und Zink erzwang 1930 die Stilllegung der Grube.

Schließlich kam die Grube Schauinsland 1935 zur Stolberger Zink AG für Bergbau und Hüttenbetrieb (Aachen), die den Bergbau im Niveau der Kappler- und Leopoldsohle ab 1937 intensivierte. Diese Bergbaugewerkschaft baute zur Trennung der feinverwachsenen Erze (zur Erzmikroskopie s. SCHÜRENBERG in: METZ et al. 1957) die bisherige nassmechanische Aufbereitung in eine Flotation um und bereitete damit die alten Abgänge ein zweites Mal auf. Nach Ende des 2. Weltkriegs ruhte der Bergbau von März 1945 bis Herbst 1946. Am 6. März 1947 wurde der 1938 begonnene 5350 m lange, am Hercherhof bei Kappel angesetzte Tiefe Stollen mit dem 535 m tiefen Roggenbachschacht durchschlägig, so dass die Entwässerung der Tiefbausohlen nun über diesen Stollen erfolgen konnte (ALBIEZ 1964, METZ 1966). Der Erzgang, der aufgrund seiner Mächtigkeit, Erzgehalte und Erstreckung für den Bergbau zwischen 1937 und 1954 die größte Bedeutung hatte, war der nach Frhr. v. ROGGENBACH benannte Roggenbachgang (Abb. 5, 10 und 11). 1953 wurden täglich rund 200 t Roherz mit einem Gehalt von durchschnittlich 0,9 % Blei und 5,4 % Zink aufbereitet. Als die Grube Schauinsland 1954 aufgrund der gefallenen Metallpreise Verluste erwirtschaftete, kam zum 31. Oktober die schnelle Stilllegung, die mit einer völligen Demontage der gesamten unter- und übertägigen Anlagen verbunden war.

Das fast ausschließlich angewendete Abbauverfahren im 20. Jh. war der Firstenstoßbau mit Einbringung von Versatzmaterial; dieses bestand aus taubem Nebengestein, das in sog. Bergemühlen, also Untertage-Steinbrüchen, gewonnen wurde. Mit einer Belegschaft von im Mittel etwa 250 Bergleuten waren mit dieser Abbautechnik im 20. Jh. insgesamt rund 1,2 Mill. t Roherz mit etwa 70.000 t Zinkmetall, 12.000 t Blei und 12 t Silber gewonnen worden (METZ et al. 1957: 128; ALBIEZ 1964; SLOTTA 1983), was einem durchschnittlichen Gehalt von 5,7 % Zink, 1,0 % Blei und 0,001 % Silber im Roherz entspricht. Mindestens 500.000 t Erz an wahrscheinlichen Vorräten, die durch Streckenauffahrungen eingegrenzt worden waren, wurden nicht mehr abgebaut.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Besucherbergwerk („Museums-Bergwerk Schauinsland"): Das größte Bergwerk des Schwarzwalds liefert optimale Voraussetzungen, der Öffentlichkeit den fast vergessenen Erzbergbau am Oberrhein und die Geologie des Grundgebirges zeigen und erläutern zu können. Heute profitieren die Menschen der „globalisierten Gesellschaft" vor allem von den Früchten eines weit entfernten Bergbaus – die Erfordernisse des Bergbaus und die daraus resultierenden technischen und naturwissenschaftlichen Leistungen können viele daher nicht mehr nachvollziehen. Für Deutschland war der Bergbau über einen Zeitraum von mehr als zwei Jahrtausenden von großer wirtschaftlicher, technischer und kultureller Bedeutung (BAX 1981, SLOTTA 1983, SUHLING 1983). Das heutige „Museums-Bergwerk Schauinsland" umfasst den Bereich zwischen dem Gegentrum II-Stollen und der 4. Feldstrecke über Kapplersohle (Abb. 5). In diesem und den vor hier und dem Kappelertal aus zugänglichen alten Abbausohlen bietet sich die Möglichkeit, die Entstehung der Erzgänge und die technische Entwicklung des mittelalterlichen und späteren Schwarzwälder Bergbaus exemplarisch zu erforschen. Das gesamte Bergwerk der Grube Schauinsland steht als technisches Kulturdenkmal von herausragendem historischem und wissenschaftlichem Interesse unter Denkmalschutz.

Mit der Erforschung der wieder zugänglichen Erz- und Mineralgänge sowie der Geologie und Hydrogeologie des Schauinslands befassen sich seit Mitte der 80er Jahre Geologen verschiedener deutscher Universitäten und des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (MITTELSTÄDT 1987, SAWALLISCH 1990, GANTER 1995, LINDENBECK & WIRSING 1996, WEBER 1997, WERNER, FRANZKE & LÜDERS 2000, WERNER & FRANZKE 2001). Der Öffnung und Sicherung der alten Grubenbaue widmet sich seit 1976 die private Forschergruppe Steiber (STEIBER 1986, 1999). Zu den wichtigsten Zielen ihrer Arbeiten gehört die Erforschung der technischen Entwicklung des alten Bergbaus. Seit 1997 betreibt sie dort in privater Trägerschaft ein Besucherbergwerk. Rechtliche Grundlage ist ein auf 50 Jahre (d. h. bis zum 31.12.2049) befristeter Gestattungsvertrag mit der Stadt Freiburg, der die Bergbaurechte, und damit das gesamte Grubengebäude der ehemaligen Betreiberfirma, der Stolberger Zink AG, gehören.

Die Forschergruppe hat für Aufwältigung, Sicherung und Vermessung der Grube inzwischen über 200.000 Arbeitsstunden aufgewendet und dabei ca. 30 km Stollen und Strecken wieder zugänglich gemacht. Mehrfach erfolgten bereits zur Erkundung des Altbergbaus und der Lagerstätte sowie zum Ausbau des Besucherbergwerks Auffahrungen im Sprengvortrieb, wobei die historischen Grubenbaue jedoch nicht verändert wurden. Neben Handbohrhammer und händischem Wegladen mit Kratze und Trog, druckluftgetriebenem Wurfschaufellader und Grubenlokomotive kamen auch moderne Bohrwagen und Fahrschaufellader zum Einsatz. Durch die Arbeiten in den vergangenen 25 Jahren wurden z. B. folgende Ziele erreicht:

Freilegung und Sicherung der völlig verbrochenen Mundlöcher des Gegentrum II- und IV-Stollens in den Jahren 1977 und 2001 (Tafeln 3 und 4) sowie des Leopoldstollens im Jahr 1988. Zwischen dem Gegentrum II-Stollen (+ 1189 m NN) und dem Leopoldstollen (+ 835 m NN) besteht über alte Abbau und Schächte Verbindung, so dass sich nach Öffnung dieser Stollen aufgrund der Höhendifferenz von 354 m eine gute natürliche Bewetterung einstellen konnte.

Wiederherstellung der Zugänglichkeit des Grubengebäudes von der Kapplersohle bis zur 6. Feldstrecke über Kapplersohle; dazu gehörte auch das Ausräu-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

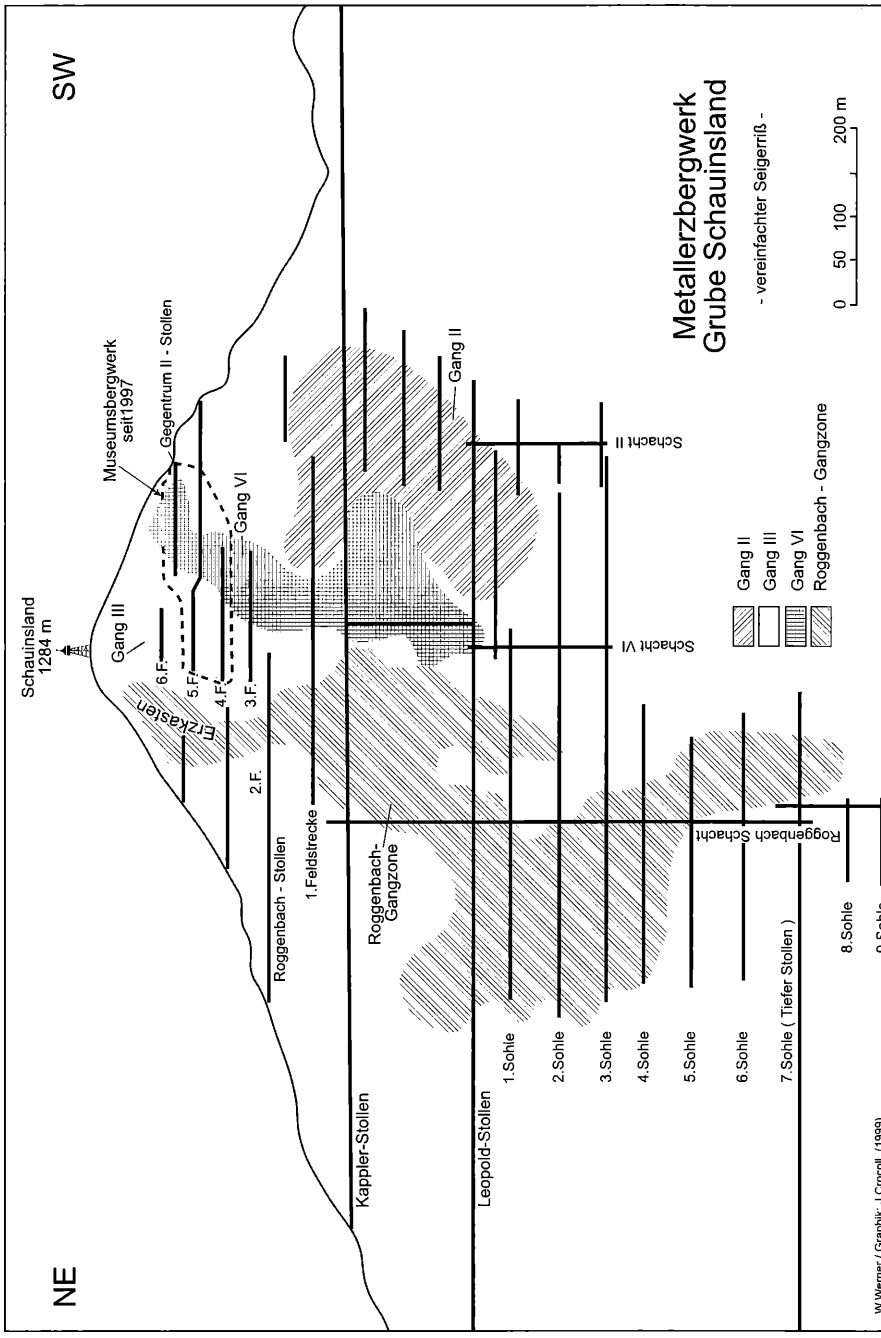


Abb. 5: NE–SW gerichteter Schnitt durch den Schauinsland – Blick vom Rheintal Richtung Osten – mit Darstellung der Haupterzgänge, des Grubengebäudes und der Lage des „Museums-Bergwerks Schauinsland", zusammengestellt nach markscheiderischen Aufnahmen der Stolberger Zink AG bis 1954 und der Forschergruppe Steiber bis 1995 (nach Zeichnungen von U. Ziehler), ergänzt.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

men mehrerer Schächte und Sturzrollen (Tafel 7). Dabei wurde ein spezieller Stahlausbau verwendet.
Freilegung großer Teile des Leopoldstollens bis zum Roggenbachschacht (1988).
Schaffung verschiedener Verbindungsstrecken, z. B. zwischen dem Altbergbau und dem modernen Bergbau im Niveau der 4. und 5. Feldstrecke, dem Abbau im Gang VI im Niveau der 4. FüK (Tafel 13) und dem Gegentrum IV-Stollen (hier vor allem zur vertraglich von der Stadt Freiburg geforderten Verlegung einer Abwasserleitung), wozu umfangreiche über- und untertägige Vermessungsarbeiten nötig waren. Durch umfangreiche Vermessungsarbeiten und gezielte Auffahrungen war es möglich, alte Grubenbereiche zu erreichen (so z. B. hochmittelalterliche Abbaue im Bereich der Erzkastenstollen).
Erstellung von Räumlichkeiten für Werkstätten, Materiallager und musealen Einrichtungen im Niveau des Gegentrum II-Stollens und der 4. Feldstrecke.

Das „Museums-Bergwerk Schauinsland" ist als Museum eines neuen Typs zu bezeichnen. Hier kann Bergbaugeschichte an der Stelle anschaulich vermittelt werden, wo sie stattgefunden hat. Vor allem die typischen Abbauverfahren der verschiedenen Bergbauperioden können anschaulich demonstriert werden. Das Spektrum reicht von den kaum mannshohen, mühsam von Hand heraus gemeißelten Stollen des Mittelalters bis zu den riesigen, durch Sprengungen mit Dynamit geschaffenen Abbauhohlräumen des 20. Jahrhunderts (Tafel 6). Im Jahr 2001, also bereits vier Jahre nach Eröffnung, konnte das Museumsbergwerk über 18 000 Besucher empfangen. Damit ist es das derzeit größte Besucherbergwerk im Südschwarzwald. Auch für Lagerstättenkundler und Mineralogen bietet die Grube Besonderes. In keinem anderen zugänglichen Bergwerk des Schwarzwalds stehen so mächtige Erzgänge an und nirgends ist das Studium des für Mitteleuropa bedeutenden Lagerstättentyps der hydrothermalen Erz- und Mineralgänge so gut möglich, da die umfangreichen Aufschlüsse hier ohne Störung eines laufenden Grubenbetriebs untersucht werden können.

3. Der geologische Rahmen der Lagerstätte

3.1 Die Nebengesteine

Das Grundgebirge des Schauinslands setzt sich aus Gneisen und Anatexiten des Zentralschwarzwälder Gneiskomplexes mit eingeschaltenen Granit-, Lamprophyr- und Rhyolithgängen zusammen (Abb. 3). Die Gneise und Anatexite, die unter den Bedingungen der amphibolitfaziellen Metamorphose entstanden sind, können in Anlehnung an WIMMENAUER (1985) als Plagioklas–Quarz–Biotit–Gneise bzw. Plagioklas-Quarz-Biotit-Diatexite bezeichnet werden. Nach Aufschlussaufnahmen und Dünnschliffuntersuchungen bestehen die Gneise aus 20–40 % Plagioklas, 5–10 % Kalifeldspat (Orthoklas), 25–35 % Quarz, 15–35 % Biotit und 10–15 % Cordierit. Nebenbestandteile sind Serizit bzw. Muskovit (in Feldspäten), Chlorit und Sillimanit. Die Diatexite enthalten 30–50 % Plagioklas, 5–10 % Kalifeldspat (Orthoklas), 20–40 % Quarz und 10–35 % Biotit.

Die Gneisvarietäten, die örtlich kleine Amphibolitvorkommen enthalten, unterscheiden sich in ihrem Mineralbestand untereinander nur wenig. Sie können jedoch nach ihrem Blastesegrad differenziert werden (Feldspat-Quarz-Blastese, Bildung von Feldspat-Quarz-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Metatekten). Der Grad der Blastese auf den Foliationsflächen ist abhängig von den Fluidgehalten in den Ausgangsgesteinen während der Thermodynamometamorphose (WIMMENAUER 1985). Es konnten in der Gipfelregion des Schauinslands fünf Gneistypen auskartiert werden (WITTENBRINK 1999):

(1) Plagioklas-Quarz-Biotit-Gneise mit Quarz-Feldspat-Blastese und deutlichem Lagenbau nehmen den größten Bereich des Arbeitsgebietes ein und sind die häufigsten Nebengesteine der Erz- und Mineralgänge im Bergwerk.

(2) Plagioklas-Quarz-Biotit-Gneise mit Quarz-Feldspat-Blastese und diffusem Lagenbau treten besonders im Gipfelbereich des Schauinslands sowie südwestlich und nordwestlich davon auf.

(3) Plagioklas-Quarz-Biotit-Gneise mit fehlender bis schwacher Quarz-Feldspat-Blastese stehen nur in einem Aufschluß nördlich der Kreisstraße von Hofsgrund nach Gießhübel an.

(4) Quarz-Plagioklas-Biotit-Diatexite („Orthogneise") mit engständiger Foliation treten nördlich des Gipfels des Schauinslands mit den Hauptvorkommen am Stäpfelefelsen und am Pflugfelsen auf.

(5) Plagioklas-Quarz-Biotit-Diatexite mit nur noch reliktischer Foliation konnten in zwei Vorkommen, nämlich am Kohlerhau und an der Holzschlägermatte zwei bzw. drei Kilometer N bis NNW des Schauinslands, auskartiert werden.

Alle Gneis- und Diatexittypen zeigen einen mehr oder weniger ausgeprägten Lagenbau zwischen hellen Plagioklas-, Quarz- und Kalifeldspat-reichen und dunklen Biotit- und Cordierit- reichen Partien. Die Plagioklase treten meist hypidoblastisch mit deutlichen polysynthetischen Verzwillingungen auf. Die Kalifeldspäte (Orthoklase) sind xenoblastisch ausgebildet und enthalten häufig Quarzeinschlüsse. Eine leichte Trübung der Feldspäte in den Dünnschliffen ist auf beginnende Serzitisierung zurückzuführen. Quarz bildet meist xenoblastische Körner. Die Körner sind in der Foliationsebene ausgelängt, was auf gerichteten Streß (Plättung senkrecht zur Foliationsebene) während der Kristallisation hinweist. Biotitaggregate sind in die Foliation eingeregelt und zeigen sekundäre Umwandlungen zu Chlorit und Muskovit. In den foliierten Quarz-Plagioklas-Biotit-Diatexiten befinden sich neben den eingeregelten Biotitkristallen noch flaserige Biotitaggregate, die regellos-sperrig in den feldspat- und quarzreichen Bereichen auftreten und dem Gestein dadurch bereits einen granitischen Habitus verleihen.

Durch Acritarchen- bzw. Chitinozoenfunde im Kristallin des Südschwarzwalds sind jungproterozoische bis ordovizische Eduktalter für die pelitischen Ausgangssedimente der Gneise nachgewiesen worden (HANN & SAWATZKI 1998). Etwa gleichalt scheinen auch die Gneise des mittleren Schwarzwaldes zu sein (HANEL, MONTENARI & LIPPOLT 1996). Nach der Untergliederung des Zentralschwarzwälder Gneiskomplexes in lithostratigraphische Formationen gehören die Paragneisanteile des Schauinslandgebiets zur wahrscheinlich frühaltpaläozoischen Elz-Formation (HIRSCHMANN 1985). Durch die Formationsgliederung ist es zwischenzeitlich für den zentralen und südlichen Schwarzwald möglich, variszische Deckeneinheiten auszuhalten (HANN & SAWATZKI 1998, KESSLER et al. 1998). Hochmetamorphe Einlagerungen (Granulite, Eklogite), die für das Kristallin des mittleren Schwarzwaldes typisch sind, konnten im Gebiet des Schauinslands nicht nachgewiesen werden.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die Intrusion der Granodiorite bzw. Tonalite, die als Ausgangsgesteine der Orthogneise angesehen werden, erfolgte im Zeitraum zwischen 520 Ma und 470 Ma (TODT & BÜSCH 1981, HRADETZKI 1989). Die mittel- bis hochgradige Metamorphose läßt sich nach den erwähnten ordovizischen Acritarchenfunden als postordovizisch einstufen. Diese HT-LP-Regionalmetamorphose, die bis zur Migmatisierung und Anatexis reichte und für den Schauinslandhorst ein wichtiges strukturelles und metamorphes Ereignis darstellt, wird von KALT et al. (1994) mit 335 bis 330 Ma eingestuft, wäre danach also spätunterkarbonischen Alters.

Neue U/Pb-Altersdatierungen an den granitischen Gesteinen des Südschwarzwalds sprechen dafür, dass neben den großen Granitplutonen auch die Gangporphyre, evtl. sogar der Münstertäler Deckenporphyr, in kurzer Abfolge entstanden und einem großen magmatischen Ereignis zugehörig sind. Die Untersuchungen von SCHALTEGGER (2000) erbrachten folgende $^{207}Pb/^{206}Pb$-Alter: Bärhaldegranit: 332 ± 3 Ma; Albtalgranit: 334 ± 3 Ma; Granit von St. Blasien: 333 ± 2 Ma; Schlächtenhausgranit 334 ± 2 Ma; Granitporphyr von Präg: 332 +2/-4 Ma; Scharfensteiner Ignimbrit (Münstertal): 333 ± 3 Ma. Der Ignimbrit wird also wie die Granitbatholithe ebenso dem höheren Unterkarbon zugeordnet, was angesichts der diskordanten Lagerung des Deckenporphyrs auf abgetragenem hochmetamorphem Grundgebirge einige Fragen aufwirft. Denkbar ist, dass die zahlreichen Gesteins- und Mineraleinschlüsse karbonischer Magmatite und Metamorphite im Ignimbrit zu falschen, d. h. zu hohen Altern führen. Die früher publizierten permischen Alter für die Granitporphyre führt der Autor allerdings darauf zurück, dass das Isotopenverhältnis in den Mineralen dieser Gesteine durch postintrusive Fluidalteration verändert wurde.

3.2 Kristallintektonik

Durch Kartierung wesentlicher Strukturelemente des Grundgebirges sollte auch geprüft werden, ob sich die später hydrothermal überprägten Störungen bereits aus der variszischen Tektonik herleiten lassen. Weiter wurde untersucht, ob sich durch die Beeinflussung der Raumlage der Strukturen des Gneisgebirges entlang der Gangstörungen kinematische Rückschlüsse zur Gangtektonik selbst finden lassen.

Die strukturelle Neukartierung eines Gebietes von ca. zehn Quadratkilometern mit dem Zentrum im Gipfelbereich des Schauinslands (WITTENBRINK 1999) und deren Ergänzung durch Untertagekartierungen in den zugänglichen Gangstrukturen des Bergwerks hat gezeigt, dass die Ganglagerstätte an der SW-Flanke der großen, WNW–ESE gestreckten Gneiskuppel des Zentralschwarzwälder Gneiskomplexes liegt. Das Zentrum dieser Kuppel befindet sich südlich von Kirchzarten und wird vom Rappeneck-Diatexit eingenommen. Diese wichtigste Kuppelstruktur des mittleren Schwarzwaldes wird im Süden vom Schauinsland und Feldberg, im Norden vom Dreisamgraben östlich von Freiburg eingerahmt (Abb. 2). Die Foliation verläuft im Bereich des Schauinslands in NW-SE-Richtung bei wechselnden Einfallsrichtungen, was darauf hinweist, dass weitere Faltenstrukturen kleinerer Ordnung mit Wellenlängen im Bereich einiger Dekameter bis Hundertmeter den Flankenbereich und damit wohl auch den übrigen Gneisdom als Ganzes weiter untergliedern (Abb. 6A).

Die Gneisfoliation wird zuerst durch kleindimensionierte (Dezimeterbereich bis Mikrobereich) intrafoliale Fließfalten (B1) verstellt, die durch breit streuende Achsenlagen (Abb.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

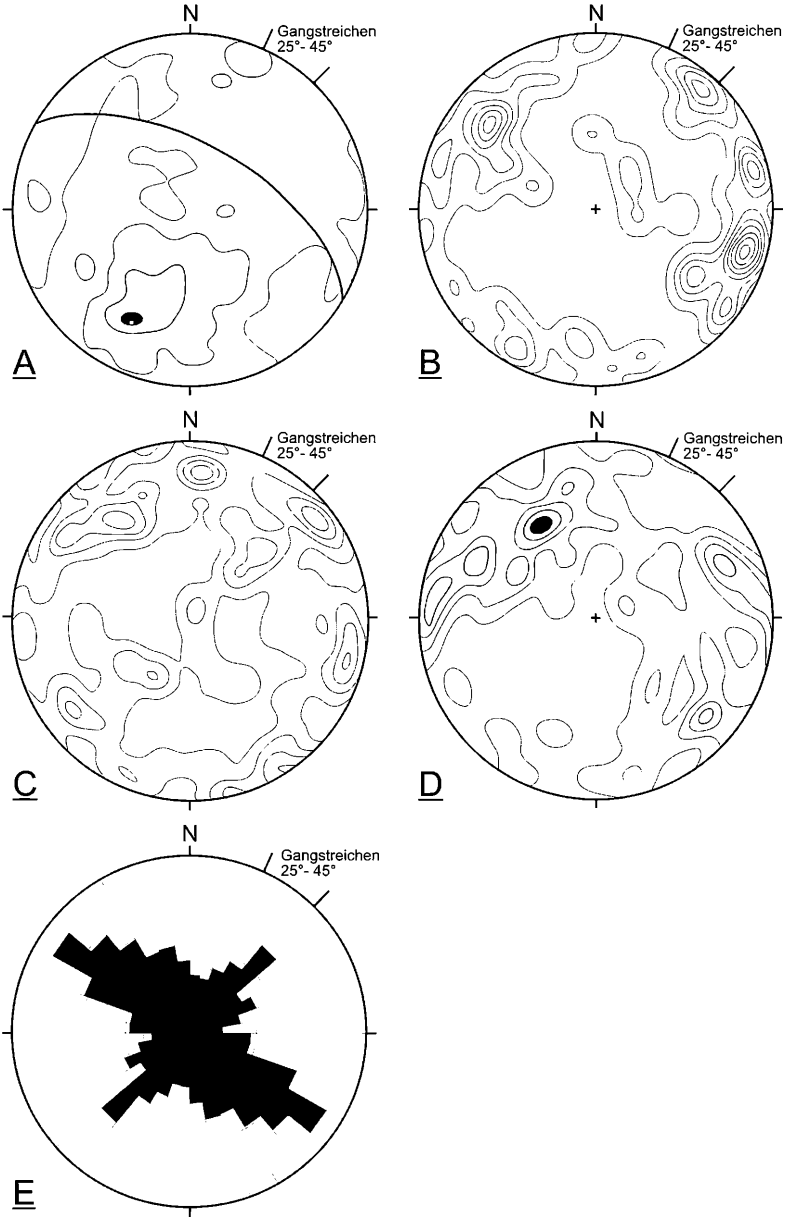


Abb. 6: A–E: Diagramme zur Veranschaulichung der Raumlage struktureller Elemente der Kristallintektonik in der Gipfelregion des Schauinslands. A: Isoliniendiagramm der Gneisfoliation (441 Meßwerte). B: Isoliniendiagramm der B-Achsen von Intrafolialfalten (B1) (62 Werte). C: Isoliniendiagramm der B-Achsen von offenen Falten (B2) (79 Werte). D: Isoliniendiagramm von Extensionslinearen im Gneis (89 Werte); E: Kluftrosendiagramm (1634 Werte, nach WITTENBRINK 1999). Nähere Erläuterungen im Text.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

6B, Intrafolialfalten) und durch nichttautozonales Verhalten der Foliationsflächen gekennzeichnet sind und damit eine Tendenz zur Bildung von Futteralfalten (sheath folds) haben. Hierbei sind in hochduktilem Milieu die Quarz-Feldspatmobilisate der Gneise mitverfaltet worden, so dass die relativzeitliche Ansiedlung im variszischen Deformationsprozeß am Ende der amphibolitfaziellen HT-LP Metamorphose vertreten werden kann (335–325 Ma, GRAUERT et al. 1990). Nach den Ergebnissen von FLÖTTMANN (1988) würde die Bildung der Intrafolialfalten in den von ihm ausgehaltenen Deformationsphasen D1/D2 anzusiedeln sein, worauf dann erst die metamorphe Hauptfoliation in Phase D3 entstanden sein soll. Das deckt sich nicht mit unseren Beobachtungen, die immer eine (Fließ-)Faltung unter Verstellung der bereits vorhandenen Foliation belegen. Damit ist auch der Übergang von dominierender Pure Shear-Verformung (Bildung der Foliation) unter der Wirkung der Auflast der Gesteinssäule zu tangentialem Schub und Simple Shear-Verformungen angezeigt. Entlang den sich in Zentimeter- bis Dezimeterabständen ausbildenden Foliationsdomänen erfolgte die Abscherung der Faltenschenkel und die Rotation der Achsenebenen parallel zu den Foliationsflächen, so dass häufig nur noch die Faltenkerne der Intrafolialfalten erhalten sind. Die Intrafolialfaltung verhält sich aufgrund des hochduktilen Bildungsmilieus nicht raumstet und ist folglich als Referenzelement zur Kontrolle der Kinematik der Gangtektonik ungeeignet.

Bei der weiteren Verfaltung der Gneise entstanden bei zunehmender Gesteinsviskosität (Aufstieg in höhere Krustenniveaus) offene Biegescherfalten bis Isoklinalfalten in Dezimeter- bis Meterdimension, die nicht von Foliationsdomänen eingegrenzt werden (Abb. 6C, B2-Falten). Dabei wurde eine zweite Schieferung vor allem in den Achsenflächen dieser Falten gebildet, welche die älteren Foliationsflächen krenuliert. Die Achsenlagen streuen im Bereich des Schauinslands erheblich, es dominieren jedoch Achsenlagen mit SW–NE-Streichen und NW–SE-Streichen bei jeweils wechselndem Eintauchen so dass im Diagramm zwei sich kreuzende Gürtel der Durchstoßpunkte der B2-Achsen erscheinen. Die Vergenzen der Falten sind dominierend nach NW bis NE gerichtet.

Es ist anzunehmen, dass die variszische Hochwölbung der im Norden dem Arbeitsgebiet vorgelagerten Gneiskuppel und deren weitere Untergliederung in Faltenstrukturen kleinerer Dimensionen mit diesem Prozeß korrespondiert (NW–SE-Achsenlagen) und die Gegengruppe (SW–NE) bereits den Verlauf der bruchtektonisch entstandenen Gangstrukturen als duktile Vorzeichnung der Gangzone markiert. Diese SW–NE-Falten verlaufen senkrecht zur SW-Flanke der Gneiskuppel.

Die Transportlineare auf den Foliationsflächen der Gneise sind dominierend um NW–SE ausgerichtet. Ein weiteres Maximum taucht nach ENE ein (Abb. 6D, Streckungslineare). Die Lineare signalisieren eine Streckung (Scherung) des Gesteinsverbandes entlang der Foliationsflächen. Es konnten keine Altersgenerationen unterschieden werden. Die NW–SE streichenden Streckungslineare finden sich mit entsprechender Streuung in den duktil-kataklastischen Scherlinearen der zur Foliation subparallel verlaufenden Scherzonen vom Typ der „Schumacher´schen Ruschel" (NW–SE bis E-W) wieder. Diese bis Zehnermeter breiten Ruscheln führen strukturelle Anzeichen älterer einengender und jüngerer ausweitender Bewegungen. Die relativzeitlich jüngeren divergenten Strukturelemente (mylonitische Foliation, S-C-Flächen, Schleppungsfahnen) haben die ältere konvergente Tektonik in den Scherzonen nahezu ausgelöscht. Im regionalen Rahmen sind diese Bewegungsinkremente richtungsmäßig mit dem schief-dextralen variszischen Thrusting und dessen Inversion zu

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

sinistralen Abschiebungsstrukturen in der südlich benachbarten Badenweiler-Lenzkirch-zone zu korrelieren (vgl. KROHE & EISBACHER 1988). Das nach ENE eintauchende deutliche Nebenmaximum ist schwieriger zu interpretieren. Es könnte die Biegegleitrichtung der NW–SE streichenden Gruppe der B2-Falten repräsentieren.
Mit der Herausbildung der foliationsparallelen Scherzonen sind die Vorgänge der variszischen Tektonik, die das Grundgebirge bis in das Korngefüge hinein erfassten, erschöpft (GRAUERT et al. 1990). Die Entwicklung konzentriert sich im Weiteren auf duktil-kataklastische Scherzonen mit generellem NW–SE-Verlauf, welche parallel zu den jungvariszischen und mesozoischen Horst- und Grabenstrukturen des mittleren Schwarzwaldes verlaufen bzw. mit diesen zusammenfallen (Feldberg-Horst, Albtalgraben, Münstertalgraben, Dreisamgraben, vgl. Abb. 2). Am Schauinsland sind diese Scherzonen (Abb. 7) nach dem spätvariszischen krustalen Aufstieg bereits in einem duktil-kataklastischen Übergangsbereich angesiedelt, bei deren Ausformung die Grenze der duktilen Verformbarkeit des Quarzes (um 300°C) bereits unterschritten wurde.

Die duktil-kataklastischen Scherzonen mit E–W- bis NW–SE-Verlauf (sog. Ruscheln, siehe Tafel 9) wurden am Schauinsland später nicht zu Mineralgängen transformiert. Im weiteren Umfeld des Schauinslands treten auf oder unmittelbar angrenzend und parallel zu diesen Strukturen jedoch lokal auch Gangmineralisationen auf (besonders mit Quarz, Baryt, Siderit, Sulfiderzen oder Hämatit), so z. B. im Suggental (FRANZKE & WERNER 1994: Abb. 6), auf der Krunkelbachstörung bei Menzenschwand (vgl. HOFMANN & EIKENBERG 1991) und an der Randstörung bei Au (Hexental südlich Au, Brauneisenerzmineralisationen in Lettenstörungen in Quarz-Feldspat-Biotit-Gneisen, freigelegt bei Straßenbauarbeiten im August 2000: 10 schwach mineralisierte Störungen im Abstand von 0,5–1 m mit 260–270/80–85°). Weitere Eisenmineralisation in diesen Ruscheln beschreiben GARCIA-GONZALES & WIMMENAUER (1975). Diese sog. Lettenruscheln (Abb. 7) sind genetisch mit der Inversion der ehemals konvergenten variszischen Scherzonen zu Abschiebungsstrukturen verknüpft. Daneben wurden jedoch auch auf den spätvariszisch angelegten Scherzonen mit NNE–SSW bis SW–NE-Richtung, den späteren Gangstörungen, prähydrothermal Lettenstörungen angelegt (bzgl. Datierung der Illitbildung vgl. Kap. 7). Wie die bergmännischen Auffahrungen im Gegentrum II-Stollen im Herbst 2000 gezeigt haben, können diese Lettenstörungen, die jedoch zumeist deutlich schmaler sind als die vom Typ der Schumacher´schen Ruschel, in enger Folge (5–10 m Abstand) auftreten. Östlich von Gang VI verlaufen diese genau Nord-Süd bei halbsteilem Ostfallen (90/50–70°). Scherlinerare auf weichen Tonbelägen dokumentieren sehr junge sinistrale Bewegungen, die sich auf das neogen bis rezente Stressfeld zurückführen lassen (WERNER & FRANZKE 2001).

Für die Lagerstättenbildung am Schauinsland waren die SSW–NNE bis SW–NE verlaufenden Brüche von Bedeutung, die als Störungsschwarm in einer Zone gleichgerichteter B2-Faltenstrukturen entstanden sind. Der Durchriß zu Bruchstrukturen muß spätestens im Oberkarbon/Perm erfolgt sein, wie die Platznahme von parallel verlaufenden Lamprophyr- und Granitgängen (LIPPOLT & SIEBEL 1991) zeigt. B2-Achsen und Granitgänge verlaufen also annähernd parallel zu den späteren Gangstrukturen. Analoge Verhältnisse wurden im Revier Freiamt-Sexau festgestellt: die weitspannige B2-Achsenrichtung, z. T. gefolgt von Granit- und hämatitführenden Quarzgängen, verläuft dort parallel zu den Barytgängen, die vielfach während des Tertiärs in den Scheitel- oder Flankenbereichen der Falten entstanden sind (WERNER & FRANZKE 1994).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

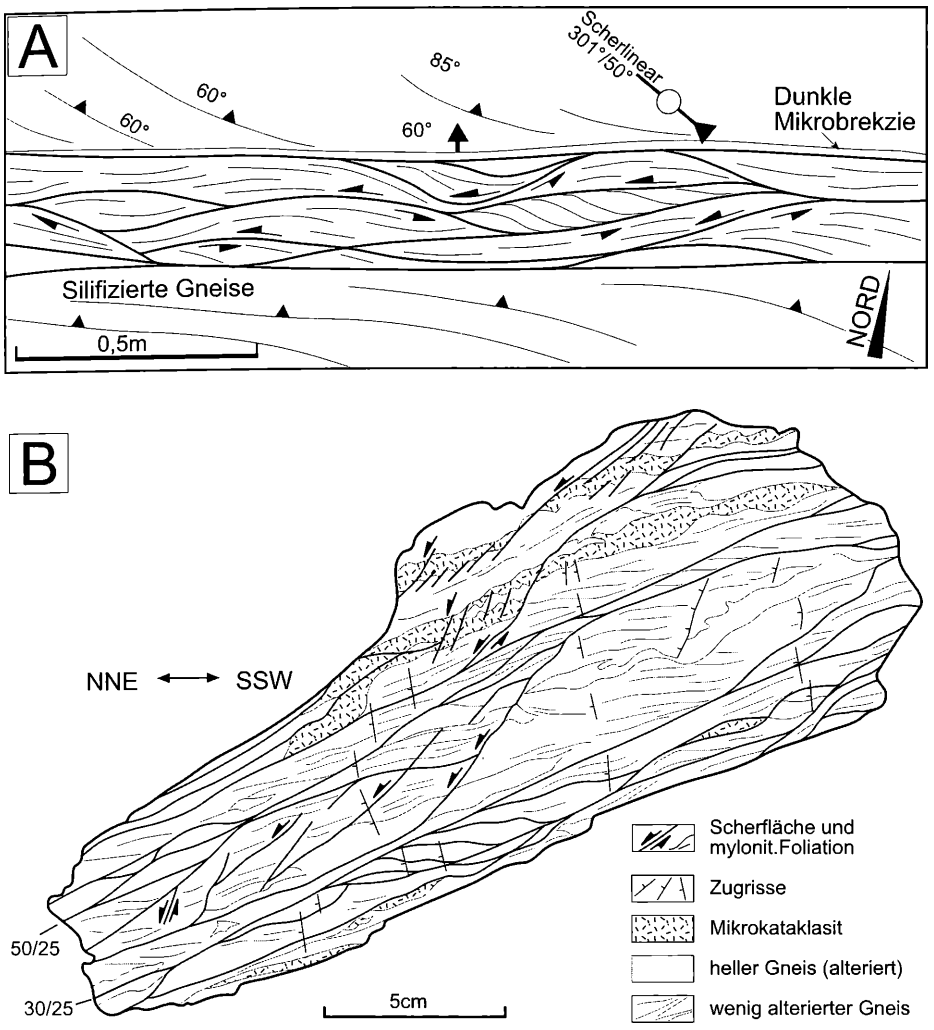


Abb. 7: Strukturskizzen von duktil-kataklastischen prämineralischen Scherzonen im Bergwerk Schauinsland. A: Aufsicht auf die Schumacher'sche Ruschel im Niveau des Leopold-Stollens, 75 Meter südlich der Lokstation. Neben distinkten Randstörungen mit Mikrobrekzienbelag ist ein zweischariges internes Schersystem ausgebildet, das zu einer Streckung und damit Ausdünnung der Scherzone führte. Die Foliation wird im sinistralen Sinne abschiebend einrotiert. B: XZ-Schnitt (Detail) einer duktil-kataklastischen Scherzone, an der der Gang VI im Südende der 4. Feldstrecke ü. Kapplersohle auskeilt. Es dominiert Streckung (Abschiebung nach NNE) an listrischen Mikroscherbrüchen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die vorherrschende Kluftrichtung in den Grundgebirgsgesteinen der Schauinsland-Gipfelregion (Abb. 6E) ist NW–SE; sie verläuft parallel zur der tertiärzeitlichen Horst-und-Graben-Gliederung (Abb. 2). Das Nebenmaximum bei 30–50°, also NE–SW, kann der Richtung der Mineralgänge der Gipfelregion (Abb. 3 und 4) bzw. den zugehörigen Fiedergängen (Abb. 19) zugeordnet werden; wie später näher ausgeführt wird, stufen wir die Gänge ebenfalls als tertiärzeitliche Bildungen ein.

4. Hydrogeologie des Bergbaugebietes am Schauinsland

4.1 Vorbemerkungen

Die folgenden Ausführungen zur Hydrogeologie des Schauinslands beziehen sich ausschließlich auf die oberflächennahen Grundwasservorkommen, die sich aus Niederschlagswässern generieren. Diese sog. meteorischen Wässer treten in Wechselwirkungen mit dem mineralischen Inhalt der Gneise und der Erz- und Mineralgänge. Letztere repräsentieren, wie in Kap. 5.3 näher beleuchtet wird, den auf tektonischen Spalten abgesetzten Inhalt von heißen Wässern, die zu erdgeschichtlicher Zeit das Grundgebirge durchströmten. Untersuchungen von rezenten Wässern, die den mehrere hundert Meter tiefen Mineralwasserbrunnen zuströmen und mehr als 2 km tief liegenden Reservoiren entstammen, zeigen, dass auch heute mineralreiche, stark salzhaltige, heiße Wässer im Grundgebirge zirkulieren (STOBER & BUCHER 1999), wie sie auch für die Entstehung der Erz- und Mineralgänge zu fordern sind. Unter geeigneten tektonischen Verhältnissen, wie z. B. entlang der heutigen Schwarzwaldrandverwerfung bei Ohlsbach (Kinzigtal SE Offenburg), treten solche Tiefenwässer an die Oberfläche, wo sie sich mit Wässern aus dem Oberrheingraben mischen können (STOBER et al. 1999).

4.2 Grundwasserführung, Grundwassernutzung

Die Gneise und Gneisanatexite des Schauinslandmassivs weisen ein relativ geringes Leit- und Speichervermögen für das Grundwasser auf. Eine deutlich höhere Wasserführung tritt im Bereich von Klüften, im oberflächennah entspannten Grundgebirge, der Aufwitterungszone und in der darüberliegenden, bis mehrere Meter mächtigen Hangschuttdecke auf. Durch die jahrhundertelange bergbauliche Tätigkeit wurden im Schauinsland neue Wasserwegsamkeiten geschaffen, so dass sich hier die Wasserführung im wesentlichen auf das Grubengebäude konzentriert. Dabei wirken die Stollen und Schächte (Tafeln 4–8) als eine Art Drainagesystem für das im Gebirge zirkulierende Grundwasser. Die Wasserführung der Stollen erreicht z. T. mehrere Liter pro Sekunde (z. B. Stundenort und Stollenort auf der Kappler Sohle: jeweils 2–2,5 l/s, Abb. 8 B). Die Sohle der meisten Stollen und Strecken besteht entweder aus Gneisen oder sie ist mit geringdurchlässigem Abraummaterial aufgefüllt, so dass dort nur wenig Grundwasser versickert. Die vom Bergbau angeschnittenen Erzgänge sowie die Klüfte im zentralen Bereich des Grubengebäudes führen nur geringe Mengen an Grundwasser (bis zu einigen Zehntel Litern pro Sekunde). Im oberflächennahen Bereich ist die Wasserführung der Klüfte wegen des Übertrittes von Hanggrundwasser in die Klüfte höher (stellenweise bis 1 l/s). Die Wasserführung der durch das Grubengebäude angeschnittenen Ruschelzonen (siehe Kap. 6.2, Tafel 9) ist äußerst gering.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

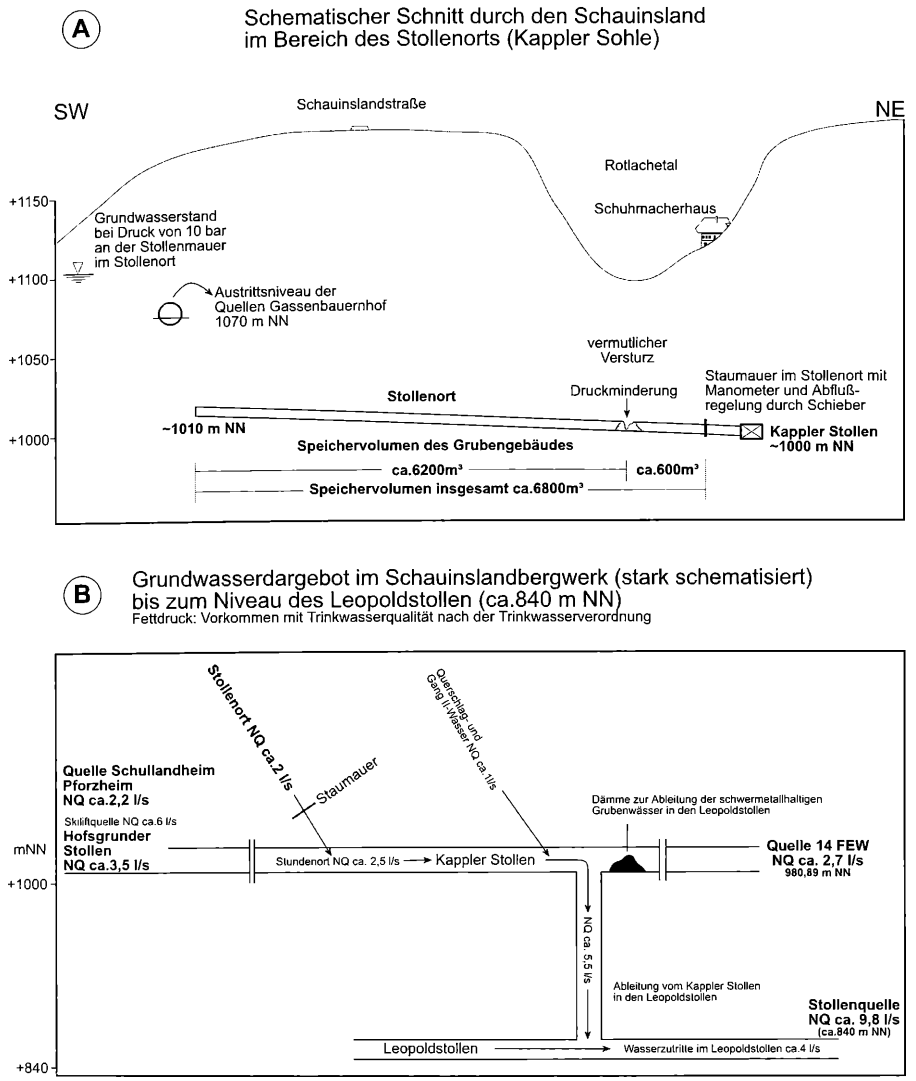


Abb. 8: (A) Schematischer Schnitt im Bereich des Stollenorts, Niveau Kapplersohle. (B) Grundwasserdargebot bis zum Niveau des Leopoldstollens (stark schematisiert).

Erste Untersuchungen zur Hydrogeologie des Schauinslandbergwerks stammen von SAWALLISCH (1990). Im Rahmen der Überarbeitung des Wasserschutzgebietes für die Quelle 14 am Kappler Stollen und zur Abschätzung des natürlichen Grundwasserdargebotes wurden in den Jahren 1993 bis 1995 im Auftrag der Freiburger Energie- und Wasserversorgung (FEW, heute Badenova) Qualität und Menge der Wasserführung des Schauinslandbergwerkes untersucht. Dies ermöglichte eine detaillierte Beschreibung der hydrogeologischen Verhältnisse im Grubengebäude (GANTER 1995, LINDENBECK & WIRSING 1996).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die Ergebnisse der meist wöchentlichen **Schüttungsmessungen** an einigen Quellen am Schauinsland (Abb. 4 und 8) sind in der Tab. 1 zusammengefasst.

Nach GRIMM & PRIER (1997) sind im Südschwarzwald Hangschuttquellen durch einen meist kleinen Schüttungsquotienten (niedrigste Schüttung/höchste Schüttung im Meßzeitraum; NQ/HQ < 0,1), Kluft- und Stollenquellen durch einen größeren Schüttungsquotienten (NQ/HQ > 0,3) charakterisiert. Die untersuchten Schauinslandquellen lassen sich nach ihrem Anteil an mittel- bis langfristigen Komponenten (Kluft- und Stollengrundwasser) und kurzfristigen Komponenten (Hanggrundwasser) in drei Gruppen unterteilen.

Gruppe 1: ausgeglichenes Schüttungsverhalten (NQ/HQ zwischen 0,7 und 0,75)
Stollenquelle Hofsgrund und die Skiliftquelle Hofsgrund: überwiegend Kluft- und Stollengrundwasser mit geringem Anteil an Hanggrundwasser

Gruppe 2: relativ ausgeglichenes Schüttungsverhalten (NQ/HQ = 0,33)
Quelle Schullandheim Pforzheim: Kluft- und Stollengrundwasser mit größerem Hanggrundwasseranteil

Gruppe 3: schwankendes Schüttungsverhalten (NQ/HQ zwischen 0,09 und 0,16)
Quelle 14 FEW (Kappler Stollen) und Stollenquelle Leopoldstollen: Kluft- und Stollengrundwasser mit einem erheblichen Anteil an Hanggrundwasser.

Eine Besonderheit stellt das Wasservorkommen im Stollenort dar, der vor der Einmündung in den Kappler Stollen durch eine Staumauer verschlossen ist (Abb. 8 A). Legt man aufgrund alter Grubenpläne für die Strecke hinter der Staumauer ein Stollenprofil von ca. 4 m^2 und eine Streckenlänge von 1700 m zugrunde, so kann das Hohlraumvolumen des abgetrennten Stollens auf ca. 6800 m^3 abgeschätzt werden. Aufgrund der Ergebnisse der kontinuierlichen digitalen Druck- und Wassermengenmessung während eines Auslauf- und anschließenden Aufstauversuches in der Zeit zwischen November 1994 und Juni 1995 muss jedoch angenommen werden, dass nicht das gesamte Grubensystem hinter der Staumauer als Wasserspeicher dient, sondern lediglich ca. 600 m^3 Wasser mit einer Schüttung von ca. 2,7 l/s frei auslaufen können. Nach der Leerung dieses Speichers nimmt die Schüttung deutlich auf ca. 1,7 l/s ab. Dies wird auf einen vermuteten Versturz im Stollenort hinter der Staumauer und einer damit verbundenen Durchflußminderung zurückgeführt (Abb. 8A).

Tab. 1 Ergebnisse von Schüttungsmessungen ausgewählter Schauinslandquellen

Bezeichnung der Messstelle	Messzeitraum	Anzahl der Messungen	Niedrigste Schüttung (NQ, l/s)	Mittlere Schüttung (MQ, l/s)	Höchste Schüttung (HQ, l/s)	NQ/HQ
Stollenquelle Hofsgrund	28.10.93 19.10.94	48	3,5	4,6	5,0	0,7
Skiliftquelle Hofsgrund	28.10.93 19.10.94	48	6,0	6,6	8,0	0,75
Quelle Schullandheim Pforzheim	28.10.93 19.10.94	48	2,2	5,4	6,6	0,33
Quelle 14 FEW, Kappler Stollen	11/93 05/95	59	2,7	13,8	29,4	0,092
Stollenquelle Leopoldstollen	11/93 05/95	59	9,8	32,0	61,4	0,16

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die **Fließgeschwindigkeiten und Fließwege** des Grundwassers im zentralen Bereich des Grubengebäudes wurden durch einen Markierungsversuch (LGRB-Archiv: MV-Nr. 1065) ermittelt. Dabei wurde am 09.11.1994 auf der 4. Feldstrecke über der Kappler Sohle im Bereich des südwestlichen Ganges VI ein Kilogramm Uranin eingegeben, das zuvor in 30 Liter Wasser aufgelöst wurde. Der Markierungsstoff wurde an lediglich vier der insgesamt 18 Beobachtungsstellen nachgewiesen. Die Ergebnisse des Markierungsversuches sind in Tab. 2 zusammengefasst.

Durch den Markierungsversuch konnte trotz einer geringen Wiederfindungsrate der Fließweg des Grubenwassers von der Eingabestelle im zentralen Bereich des Besucherbergwerkes (ca. 1144 m NN) bis auf das Niveau der Leopoldsohle (ca. 838 m NN) verfolgt werden. Der Markierungsversuch wurde hinsichtlich der maximalen Abstandsgeschwindigkeit ausgewertet. Dieser Auswertung liegt der Abstand zwischen der Eingabestelle und der Beobachtungsstelle sowie die Zeitdauer zwischen der Eingabe und dem erstmaligen Nachweis an der Beobachtungsstelle zugrunde. Die maximale Abstandsgeschwindigkeit des Grubenwassers liegt in den Grubenabschnitten, in denen die Entwässerung im wesentlichen als offenes Gerinne über die Stollen erfolgt, in der Größenordnung von mehreren Zehner Metern pro Tag. So benötigte das uraninmarkierte Grundwasser vom Probenahmepunkt 10 auf der 1. Feldstrecke über Kappler Sohle bis zum ca. 340 m vertikal und ca. 1360 m horizontal entfernten Mundloch des Leopoldstollens 15 Tage Fließzeit. Dies entspricht einer maximalen Fließgeschwindigkeit von 92 Metern pro Tag. Die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers, das im Versatz bzw. entlang von Klüften fließt, liegt in der Größenordnung von maximal wenigen Metern pro Tag. Die mittlere und dominierende Abstandsgeschwindigkeit wurde wegen der ungünstigen Rahmenbedingungen nicht ermittelt (geringe Wiederfindungsrate, unvollständige Farbdurchgangskurven, zeitweise wöchentlicher Beprobungsabstand, abschnittsweise stark schwankende Fließgeschwindigkeiten, unterschiedlich lange vertikale und horizontale Fließstrecken, Sorptionsprozesse).

Grundwassernutzung: Die Grubenwässer des Schauinslands treten an mehreren Stellen als Stollenquellen über Tage aus (Abb. 4). Der Wasseraustritt aus dem Kappler Stollen im

Tab. 2 Ergebnisse des Markierungsversuches im Schauinslandbergwerk mit Farbeingabe am 09.11.1994 (MV-Nr. 1065; FüK: Feldstrecke über Kappler Sohle)

Beobachtungsstelle	Erster Uranin-Nachweis	Höchste gemessene Uraninkonzentration (Datum und Menge)	Bemerkungen
3. FüK Probenahmepunkt 6	25.02.95	09.04.95: 19,5 mg/m³	—
1. FüK Probenahmepunkt 10	05.03.95	14.04.95: 2,14 mg/m³	Vor MV-Beginn konstanter Hintergrundwert von 0,21-0,28 mg/m³ Uranin
Kapplersohle Probenahmepunkt 10	01.04.95	01.04.95: 0,23 mg/m³	Sporadische Uraninnachweise, kein deutlicher Uranindurchgang
Mundloch Leopoldstollen	21.03.95	14.04.95: 0,010 mg/m³	—

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Kappler Tal (980,89 m NN, Quelle 14 FEW, LGRB Archiv-Nummer: Qu 8013/78) wurde ursprünglich von der Gemeinde Kappel und seit deren Eingemeindung durch die Freiburger Energie- und Wasserversorgungs-AG (FEW) zur Trinkwasserversorgung von Kappel genutzt. Weitere Wasseraustritte aus Stollenmundlöchern sind vom Tiefen Stollen am Hercherhof im Kappler Tal (ca. 450 m NN), vom Leopoldstollen (ca. 838 m NN, Qu 8013/82) und von der Stollenquelle Hofsgrund (LGRB-Archivnummer: Qu 8013/80) bekannt. Außerdem sind die genutzte Quelle Schullandheim Pforzheim (Qu 8013/79), die sogenannte Skiliftquelle Hofsgrund (Qu 8013/81) sowie die von der Gemeinde Hofsgrund genutzten Quellaustritte am Haldenköpfle (Qu 8113/32 bis Qu 8113/42) im Zusammenhang mit den Wässern aus dem Grubengebäude zu sehen. Bei den übrigen, z. T. genutzten Grundwasseraustritten am Schauinsland handelt es sich überwiegend um Hanggrundwasser. Vereinzelt ist dort untergeordnet auch eine Kluftgrundwasserkomponente an der Wasserführung beteiligt.

4.3 Hydrochemie

Die hydrochemisch untersuchten Gruben- und Quellwässer sind z. T. durch erhöhte Schwermetallkonzentrationen (Pb, Cd, Zn, z.T. Ba) gekennzeichnet. In der Tab. 3 sind die Ergebnisse einiger exemplarisch ausgewählter Proben zusammengestellt. Die Wässer im oberen Bereich des zentralen Grubengebäudes (vom Schauinslandgipfel bis zur 4. FüK) sind demgegenüber nur schwach mineralisiert. Sie stammen überwiegend aus versickerndem Niederschlagswasser der oberflächennahen Auflockerungszone (z.B. Kappel Nr. 1). In den tieferen Grubenabschnitten treten aus den Klüften und Gängen (z.B. Probe Kappel Nr. 15) höher mineralisierte Wässer hinzu. Obwohl es sich dabei meist um relativ geringe Mengen handelt, kann dies z.T. dazu führen, dass das auf der Stollensohle gesammelt abfließende Grubenwasser Schwermetallkonzentrationen über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung enthält. Es läßt sich jedoch keine systematische Zunahme der Schwermetallkonzentrationen mit der Tiefe feststellen, da sich auch in tieferen Grubenbereichen höher mineralisierte Wässer mit solchen mischen, die über das Stollensystem kurzfristig abfließen. Aufgrund zeitlich stark variierender Mischungsanteile der verschiedenen Komponenten ist das Grubenwasser in seiner chemischen und isotopischen Zusammensetzung starken Schwankungen unterworfen.

Die Tritiumgehalte der untersuchten Wässer liegen zwischen 13,3 ± 1,2 und 28,9 ± 1,9 TU, die $\delta^{18}O$- Werte zwischen -9,33 und -10,44 ‰. Anhand unterschiedlicher Gehalte sowie zeitabhängiger Variationen der Isotopenkonzentration lassen sich die Grubenwässer und Quellwässer im Bereich des Bergwerks in eine schnell fließende Grundwasserkomponente mit hohen Anteilen an kurzfristig zutretendem Niederschlagswasser und variierenden $\delta^{18}O$-Gehalten (-9,3 bis -9,8 ‰ $\delta^{18}O$) und in zwei Komponenten mit ausgeglicheneren isotopenhydrologischen Eigenschaften ohne kurzfristig abfließende Niederschlagskomponenten (- 9,85 bis < -10,44 ‰ $\delta^{18}O$) einteilen (HEIDINGER 1995). Wegen der innerhalb des Grubengebäudes wiederholt auftretenden Vermischung der unterschiedlichen Komponenten ist eine sohlenübergreifende Verfolgung der Fließwege anhand der isotopischen Markierung der Wässer nicht möglich. Für die von der FEW genutzte Quelle 14 im Kappler Tal ist aufgrund der Isotopenuntersuchungen keine Beeinflussung des Quellwassers aus dem zentralen Teil der Grube zu erkennen.

Tab. 3 Auszug aus hydrochemischen Analysen von Gruben- und Quellwässern des Schauinslandbergwerks (Labor: Fa. Hydroisotop, Schweitenkirchen). KS = Kapplersohle; LF = Leitfähigkeit; SK-4,3 = Säurekapazität bis pH 4,3 ; TU = Tritium units; TrinkwV = Trinkwasserverordnung; n. b. = nicht bestimmt

Bezeichnung	Entnahme-datum	pH	LF (µS/cm)	SK-4,3 (mmol/l)	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (ges.) (mg/l)	Mn (mg/l)	Ba (mg/l)	Chlorid (mg/l)	Sulfat (mg/l)	^3H (TU)	$\delta^{18}O$ (‰)
Kappel Nr. 1 (1. FüK)	30.09.93	7,2	60	0,20	0,200	0,0070	3,300	0,031	0,012	0,110	3,4	8,7	13,6±1,1	-9,76
Kappel Nr. 15 (Gang VI, KS)	30.09.93	7,4	128	0,50	0,099	0,2000	11,0	0,018	0,010	0,065	2,6	31,0	19,8±1,5	-9,99
Quelle 14 FEW	30.09.93	7.3	75	0,45	<0,002	0,0013	0,290	0,012	<0,005	0,033	1,8	6,5	16,6±2,0	-9,81
Quelle Leopoldstollen	02.03.94	7,6	388	n. b.	0,009	0,0130	1,70	n.b.	n.b.	n.b.	13,0	112,0	n. b.	-9,95
Quelle Hofsgrund	02.03.94	7,2	140	n. b.	0,002	0,0041	0,450	n.b.	n.b.	n.b.	13,0	2,6	n. b.	-10,24
Quelle Schullandheim	02.03.94	6,6	115	n. b.	0,004	0,0005	0,100	n.b.	n.b.	n.b.	16,0	1,8	n. b.	-10,19
Skiliftquelle	06.10.93	6,5	178	0,80	0,065	0,0340	4,200	0,081	0,035	0,290	32,0	3,5	21,0±1,9	-10,33
TrinkwV-Grenzwert		≥6,5 ≤9,5	2000 bei 20°C		0,04	0,005	5,0	0,12	0,05	1,0	250	240		

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

4.4 Grundwasserdargebot

In der Abb. 8 B ist das aus den Schüttungsmessungen im Messzeitraum 28.10.93 bis 19.10.94 ermittelte natürliche Grundwasserdargebot im Schauinslandbergwerk in einer Skizze schematisiert dargestellt. Insgesamt beträgt das Dargebot bis auf die Höhe des Leopoldstollens bei niedriger Wasserführung ca. 24 l/s. Die Schwermetallgehalte liegen z. T. deutlich über den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) und schränken die Nutzungsmöglichkeit dieses Grundwassers zu Trinkwasserzwecken ein. Nach den derzeit vorliegenden Untersuchungsergebnissen entsprechen die Quelle Schullandheim Pforzheim, die Stollenquelle Hofsgrund, das Grubenwasservorkommen hinter der Staumauer im Stollenort und die Quelle 14 der FEW den Qualitätsanforderungen der TrinkwV (insgesamt 10,4 l/s) (Tab. 3). In den übrigen Vorkommen lagen die (aus der Zinkblende der Erzgänge stammenden) Cadmiumgehalte bei den entnommenen Proben mindestens ein Mal über dem Grenzwert (Tab. 5 und 6 zeigen, dass die Zinkblenden im Mittel 0,24 % Cd enthalten). Allerdings besteht die Möglichkeit, das derzeit nutzbare Grundwasserdargebot durch technische Maßnahmen zu erhöhen. Dies kann entweder durch die Ableitung von Grubenwasser mit hohen Schwermetallkonzentrationen erfolgen, wie dies bei der Quelle 14 der FEW erfolgreich praktiziert wird. Andererseits ist die Fassung von Grubenwasser mit Trinkwasserqualität vor der Vermischung mit schwermetallbelastetem Grundwasser und dessen Ausleitung aus dem Bergwerk denkbar.

5. Die Erz- und Mineralgänge

5.1 Übersicht

In der Gipfelregion des Schauinslands und dem südwestlich davon gelegenen Sattel zwischen Hofsgrund und Stohren treten eine Reihe von Erz- und Mineralgängen auf (Abb. 3–5). Aufgrund des ungewöhnlich hohen Zinkblendeanteils erscheinen diese Gänge für den Schwarzwald auf den ersten Blick einzigartig. Die Mineralparagenese und die strukturelle Beschaffenheit der Gänge lassen jedoch beim Vergleich mit den im Norden und Süden benachbarten Gangrevieren zahlreiche Gemeinsamkeiten mit diesen erkennen und zwar besonders mit den Typen A und F nach SCHÜRENBERG (in: METZ et al. 1957: 35); bei der Gruppe A handelt es sich um Quarz-Flußspatgänge mit Blei-Silbererzen im Gebiet Untermünstertal–Wiesental, Typ Schindler, der Gruppe F um Quarz-Schwerspatgänge mit Blei-Zinkerzen im Münstertal, Typ Kropbach. Die Zusammenstellung der Gänge vom Typus A, E und F auf einer geologischen Karte des Schwarzwalds südlich des Dreisamgrabens durch METZ & REIN (in: METZ et al. 1957) macht deutlich, dass Gänge dieser Mineralparagenesen weite Verbreitung haben. Sie weisen bevorzugt Oberrheingraben-paralleles Streichen auf und reichen vom Dreisamtal im Norden bis zum oberen Wiesetal im Süden sowie von der Schwarzwaldrandstörung bis etwa zur Linie Präg–Bernau–Hinterzarten, also bis ca. 23 km östlich der Randstörung. Dadurch erlangt der Schauinsland, wie beim Rückblick auf die Erforschungsgeschichte bereits erläutert (Kap. 1), auch eine Art Schlüsselrolle bei der Erforschung der Entstehung der Hydrothermalgänge im südlichen Zentral- und im nördlichen Südschwarzwald und darüber hinaus (Kap. 9).

Unter Berücksichtigung des störungstektonischen Bauplans (Kap. 6) lassen sich die meist nur über kurze laterale Erstreckung (z. T. unter 100 m) bauwürdigen Gänge zu drei

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Hauptgangzonen zusammenfassen (Abb. 4), die von West nach Ost bezeichnet werden können als (1) Gangzone II–Gesprenggang, (2) Haldener Gangzug mit den beiden Hauptgängen Barbaragang und Willnauer Gänge und mit nördlicher Fortsetzung im Roggenbachgang sowie (3) Lochmattengang. Die Gänge III, VI und VIII können dem tektonischen Bauplan entsprechend als Fiedergänge des Gangstörungssystems Haldener Gangzug–Roggenbachgang aufgefasst werden (Abb. 4). Weiter im Westen liegen noch die als Farnacker Gänge bezeichneten Mineralisationen mit Bleiglanz und Pyromorphit, bei denen es sich aber offensichtlich weniger um typische Blei-Zinkerz-Gänge als vielmehr um eine Zone mit vermehrter Kluftmineralisation handelt (Tafel 10), wie die Aufschlüsse in der Grube Farnacker II zeigen (Kap. 5.2).

Die zahlreichen an der Oberfläche und im Tiefbau nachgewiesenen Gänge wurden von METZ et al. (1957) ausführlich beschrieben, soweit sie bei der Schließung der Grube zugänglich waren. Dies waren besonders die im modernen Bergbau aufgeschlossenen, bis 900 m unter Tage nachgewiesenen Gänge des Nordfelds, also des nördlich von Hofsgrund unterhalb der Gipfelregion gelegenen Bereichs (Abb. 4 und 10). Dies sind von West nach Ost: der Gang II, der Roggenbachgang, Gang III, der Gang VI und Gang VIII. Daneben existieren eine Zahl von Diagonaltrümern (z. B. Abb. 19). Insgesamt dürfte die Erzmenge in diesen Gängen des Nordfelds rund 2–2,5 Mio. t Erz mit einem Metallgehalt von rund 7 % Zn und Pb (im Verhältnis 10 1) betragen haben.

Die Gänge des sog. Südfelds (Hofsgrund, Bergkamm westlich Hofsgrund, Flurbezeichnungen Halde, Willnau, Schindelmatt, Gießhübel, Farnacker, Stohren, vgl. Abb. 4) waren vor allem im Mittelalter von Bedeutung. Hier treten am weitesten im Westen die durch zahlreiche Pingen, Halden und verbrochene Stollen markierten Gänge am Farnacker (Farnacker I und II, auch als Gießhübelgänge bezeichnet) auf, dann der Gspreng-Gang, der Barbara-Gang (auf dem 1372 das Berggesetz des sog. Dieselmuoter Bergweistums entstand) sowie der Willnau-Gang, die in der Literatur beide auch zum Haldener Gangzug zusammenfasst werden. Am weitesten im Osten, großteils im Gebiet der Ortschaft Hofsgrund gelegen, befindet sich der Lochmattengang (von METZ et al. 1957 als Gang am Bühlhof bezeichnet), zu dem wohl auch der Bleiglanzgang im Hofsgrunder Stollen gehört (STEIBER 1986). Am wenigsten ist über den Gsprenggang bekannt, der nach der Kartierung von WIMMENAUER (in: WIMMENAUER & HÜTTNER 1967) möglicherweise doppeltrümig entwickelt ist. METZ et al. (1957) leiten aus den Beschreibungen von CARATO (1786), VERNIER (1781) und LANG (1903) einen in zwei bis drei Trümern bauwürdigen bleiglanzreichen Kalkspatgang ab. Nach SCHUMACHER (1911) zogen sich die Halden des Gsprenggangs, von denen aufgrund der umfangreichen Straßenbauarbeiten an der Straßenkreuzung der L 124 mit der Straße von Hofsgrund nach Gießhübel heute nichts mehr zu erkennen ist, über eine Länge von ca. 220 m hin. Er enthält zahlreiche Oxidationsminerale, auf die offensichtlich umfangreicher Bergbau umging, wie die große in den 70er Jahren eingebrochene Pinge NE vom Straßenabzweig von der L 124 nach Hofsgrund belegt (mdl. Mitt. B. STEIBER).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

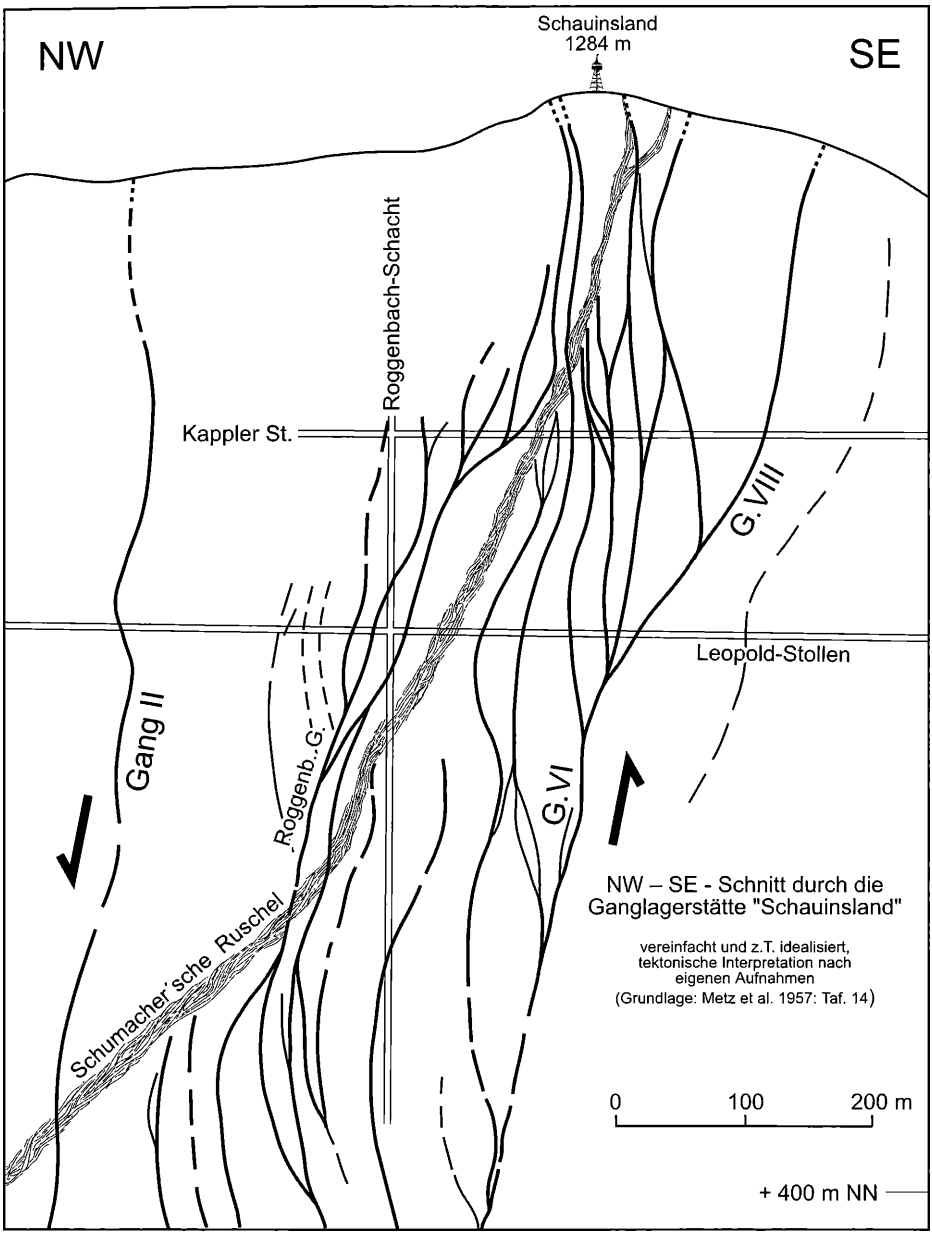


Abb. 9: NW–SE-Schnitt durch den Schauinsland mit synoptischer Darstellung der Gangstörungen und der Schumacher´schen Ruschel. Mit Ausnahme von Gang II stehen im Bereich der Grube alle Erzgänge innerhalb des Barbara-Roggenbachgang-Störungssytems miteinander in Verbindung (vgl. Abb. 4). Das Störungsmuster fügt sich in die Detailbeobachtungen auf den einzelnen Gangstörungen, wonach die Erzgänge im Zuge einer dextral schrägabschiebenden Störungstektonik entstanden sind. Die Störungen verlaufen parallel zur Schwarzwaldrandstörung und fallen gleichsinnig mit ihr nach Westen ein.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

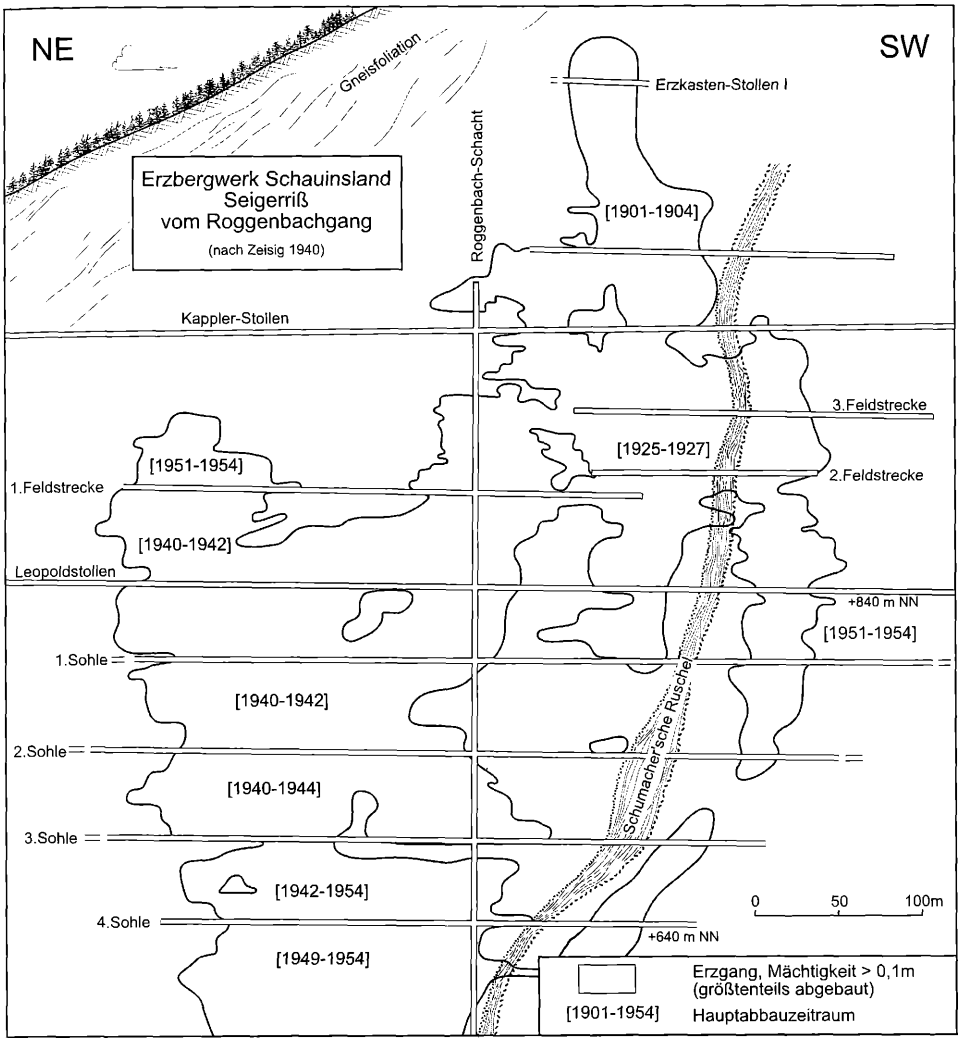


Abb. 10: NE–SW gerichteter Seigerriß des Roggenbachgangs nach markscheiderischen Aufnahmen von Zeisig (Stolberger Zink AG, 1940) mit Angabe der Abbauzeiträume. Es wird deutlich, dass es sich bei der Gangscheibe dieses wichtigsten Erzganges am Schauinsland um ein stark zerlapptes Gebilde handelt (Abschnitte mit einer Mächtigkeit von weniger als 0,1 m sind nicht dargestellt). Die präexistente Schumacher´sche Ruschel mit ihren lettigen Störungsgesteinen wird bereichsweise vom Gang durchschlagen, wirkte sich aber im größten Teil der Lagerstätte ungünstig auf die Gangöffnung aus, weshalb in ihr und ihrem Nahbereich keine bauwürdigen Erzmittel entstehen konnten.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Zur Ergänzung der Gangbeschreibungen von SCHÜRENBERG (in: METZ et al. 1957) und von STEIBER (1986) seien hier die in einer am Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg (LGRB), Freiburg, vorliegenden Archivkarte von 1948 eingetragenen Kurzbeschreibungen von H. SCHÜRENBERG der im Schauinsland-Gipfelbereich und bei Hofsgrund auftretenden Gänge wiedergegeben (zur Lage vgl. Abb. 4):

Gang II:	Streichen 45–58°, Fallen 70–85° W, Mächtigkeit 1–2,5 m, Länge ca. 1000 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat, Kalkspat, Dolomit
Roggenbachgang:	Streichen 20–45°, Fallen 65–90°, Mächtigkeit 0,8–3,0 m, Länge ca. 500 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies, Schwerspat, Kalkspat, Dolomit, Markasit
Gang VI:	Streichen 45–55°, Fallen 75–85° W, Mächtigkeit 0,8 m, Länge ca. 200–250 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat
Gang III:	Streichen 25–30°, Fallen 75–85° W, Mächtigkeit ca. 0,6 m, Länge ca. 300 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat, Kalkspat, Dolomit, Markasit
Gang VIII:	Streichen 45°, Fallen 80° W, Mächtigkeit 0,5 m, Länge ca. 150–200 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat
Gspreng-Gang:	Streichen 20°, Fallen 90–85° W, Mächtigkeit bis 0,9 m, Länge ca. 800–900 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat, Pyromorphit. Nach WIMMENAUER & HÜTTNER (1968: 51) enthält er Quarz I und II, Kalkspat I und Schwerspat als Gangarten und nur Bleiglanz, Pyromorphit, Cerussit, Malachit und Anglesit als Erze, Zinkblende soll hier ganz selten sein. Der Pyromorphit enthielt z.T. bis 0,35 % Uran (KIRCHHEIMER 1957).
Hofsgrunder Stollen:	Streichen 40°, Fallen 80° W, Mächtigkeit bis 0,35 m, Länge ?, Hauptminerale: Quarz, Bleiglanz, Zinkblende, Schwerspat
Gieshübel I (Farnacker I):	Streichen 20°, Fallen ?, Mächtigkeit bis 0,3 m, Länge 500 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat, Pyromorphit
Gieshübel II (Farnacker II):	Streichen ?, Fallen ?, Mächtigkeit bis 0,4 m, Länge ca. 300 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Schwerspat, Pyromorphit
Barbara-Willnau:	Streichen 20°, Fallen ?, Mächtigkeit bis 1,0 m, Länge 1200 m, Hauptminerale: Quarz, Zinkblende, Bleiglanz, Fahlerz, Schwerspat, Pyromorphit, Linarit, Mimetesit, Malachit.

Die heute noch auffindbaren Spuren des Bergbaus im Südfeld sind sehr spärlich. Nördlich der Abzweigung von der Landesstraße L 124 nach Hofsgrund (nördlich Gasthaus und Kapelle an der „Halde") befinden sich beiderseits der Straße Reste von Halden des Bergbaus auf dem Willnauer Gang. Die westlich der Straße auf offener Wiese gelegene Halde (Tafel 2) enthält heute nurmehr sehr spärlich Gangmaterial, zumeist besteht sie aus dem engstän-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

dig geschieferten Biotit-reichen Paragneis, der auch in der Grube am Farnacker auftritt. Gleiches gilt für die verstreuten Haldenreste am Rande einer Fichtenschonung östlich der Straße. Verkieselter Gneis und Hornsteinquarz treten als älteste Gangmineralisationen auf. Neben wenig Bleiglanz und schwarzbrauner Zinkblende ist auch viel Gangquarz (meist Pseudomorphosenquarz nach Baryt) und weißer Baryt zu finden. Klarer idiomorpher Quarz in Drusen bildet den Abschluss der Gangmineralisation, abgesehen von sekundären Bildungen wie Pyromorphit, Cerussit und Limonit. Der Gang am Gieshübel (Farnacker II) war im Mai 2000 kurze Zeit zugänglich (vgl. Beschreibung in Kap. 5.2). Die hier aufgeschlossenen geringmächtigen Bleiglanz-Pyromorphitklüfte streichen 15–40° und fallen mit 65–90° E (Tafel 10).

Abb. 11: Der Roggenbachgang in typischer Ausbildung mit zinkblendereichem Brekzienerz (Zinkblende I); die Salbänder des Ganges sind gestrichelt nachgezeichnet. Die historische Aufnahme (von ca. 1948) zeigt einen Bergmann der Stolberger Zink AG vor einem ca. 2 m mächtigen Reicherzmittel im Niveau des Leopoldstollens (Archiv B. Steiber, Freiburg).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

5.2 Zusammensetzung und Erscheinungsbild der Hydrothermalgänge

Die Erz- und Mineralgänge des Schauinslands lassen sich zusammenfassend als Quarz-Schwerspat-Kalkspatgänge mit Zink- und Bleierzen bezeichnen. SCHÜRENBERG (in: METZ et al. 1957) stellt sie in die „Gruppe E der Südschwarzwälder Ganggruppen" Es handelt sich strukturell um komplex aufgebaute, vielfach auffiedernde Hydrothermalgänge (Abb. 9, 19, 20, 24), die randlich von unterschiedlich mächtigen Zonen mit Brekziierung und Verquarzung des Nebengesteins begleitet werden (Abb. 14 und 15). Kennzeichnend ist das Auftreten sowohl von Lagen- als auch von Brekzientexturen in der Gangmineralisation (Abb. 11 , Tafeln 11–15) und die intensive Durchtrümerung des Nebengesteins mit zahlreichen mineralisierten „Klüften" (cm-breite Gängchen meist aus Quarz, Schwerspat und Kalkspat mit wenig Erzen). Daneben sind die häufigen Verdrängungserscheinungen kennzeichnend, wobei die älteren Karbonat-, Quarz-, Flußspat- und Sulfidgenerationen durch nachfolgende hydrothermale Phasen mit oftmals pseudomorpher Mineralisation besonders von Quarz- und Baryt verdrängt wurden. Die Hauptmasse des Ganginhalts besteht daher aus Quarz, gefolgt von meist weißem Schwerspat; Kalkspat ist nur auf Gang II in größerer Menge angetroffen worden (Tafeln 14 und 15). Mengenmäßig an dritter Stelle steht schwarzbraune, eisenreiche Zinkblende, die mit Bleiglanz und geringen Mengen von Kupferkies und Fahlerz vergesellschaftet ist. Primäre paragenetische Teufenunterschiede konnten im Schauinsland trotz der großen Aufschlußtiefe weder in mineralogischer noch in geochemischer Hinsicht festgestellt werden (SCHÜRENBERG in: METZ et al 1957; MITTELSTÄDT 1987).

Die hydrothermale Mineralisation läßt sich mit KREUTZWALD (1935) und METZ et al. (1957) wie folgt vereinfacht gliedern: **1. Mineralisationsphase**: Sie beginnt mit hornsteinartigem, dichtem bis feinkörnigem Quarz, der feinkörnigen Pyrit und Markasit enthält. Dieser Hornsteinquarz führt teilweise auch feinkörnigen Adular, wie er auch auf den Flußspatgängen des Münstertales beobachtet wurde (mdl. Mitt. K. BURGATH, Hannover). Diese „Vorphasenmineralisation" verkittet den zuvor tektonisch brekziierten Gneis. SCHNEIDERHÖHN (1929) und KREUTZWALD (1935) berichten von Flußspatnegativen, die von einer weiteren präsulfidischen Quarzmineralisation ausgefüllt wurden (Flußspat I). Wie der Adular, der bei ausreichender Kristallgröße zur Altersdatierung verwendet werden kann, deutet auch der Flußspat I auf eine Verwandtschaft der älteren Schauinslandmineralisation zu den Gängen im Münstertal- und Belchengebiet hin. Im Anschluß an o. g. Nebengesteinsverkieselung kam es zu einer intensiveren Brekzienbildung auf den verkieselten Gangspalten und zur Abscheidung von Zinkblende Ia und Ib sowie Bleiglanz Ia und Ib (Abb. 12, Tafeln 11–15). Diese Zn-Pb-Vererzung ist die wirtschaftlich wichtigste (chemische Zusammensetzung s. Tab. 4–8).

Nach METZ et al. (1957) bildete sich zwischen den nun folgenden zwei tektonischen Phasen grobspätiger Gangcalcit, den KREUTZWALD (1935) als Beginn der 2. Mineralisationsphase betrachtet. Diese **2. Mineralisationsphase** ist durch die Abscheidung von Quarz IIa, Zinkblende IIa, gefolgt von Quarz IIb und Zinkblende IIb, charakterisiert, durch welche Calcit größtenteils wieder aufgelöst wurde. Hierauf folgt die Gangartphase der 2. Mineralisation, bestehend aus Quarz IIc (Stengelquarz), Flußspat II (nur durch Pseudomorphosen nachgewiesen) und Schwerspat I und II, welche teilweise durch Dolomit getrennt werden (Abb. 13). Im Gang III konnte ein Gangaufschluß kartiert werden (Abb. 14), in dem auf

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

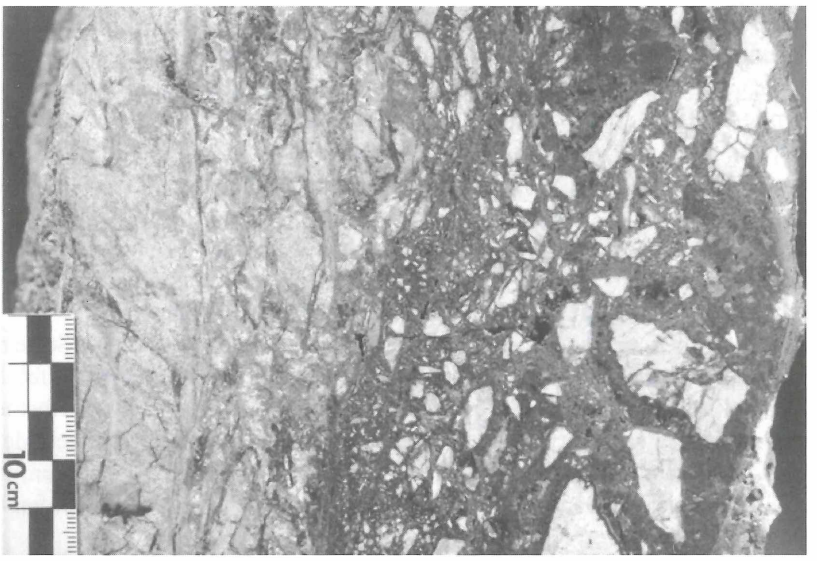


Abb. 12: Typisch brekziöse Ausbildung der Hauptzinkblendevererzung (Zinkblende I). Die Bruchstücke bestehen aus weitgehend verkieseltem Gneis oder dichtem Quarz I. Gang III, Abbau zwischen 4. und 5. FüK (abgebildetes Gangstück entspricht Probe S. 984 in Tab. 4).

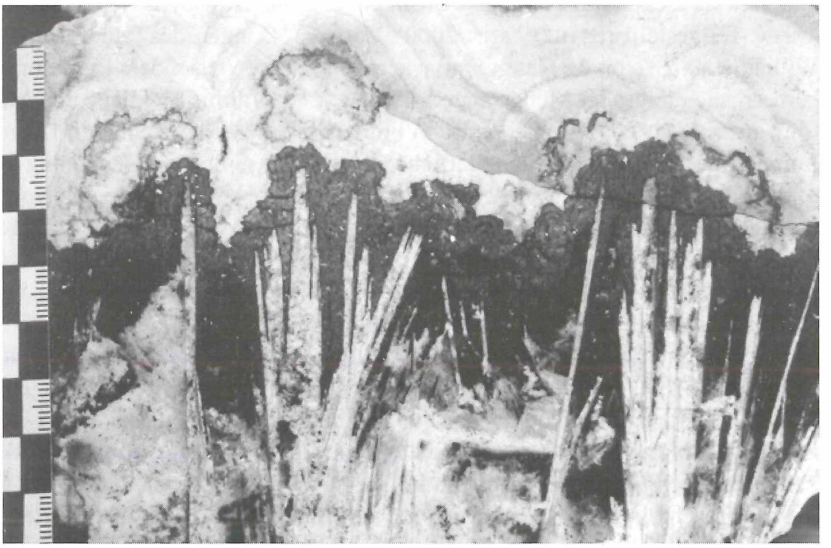


Abb. 13: Stengelquarz (Quarz IIc), fast vollständig durch Baryt I verdrängt, darüber Überkrustung von Zinkblende II, späterer Dolomit wurde durch feinkörnigen Baryt II mit Blumenkohlstrukturen großteils verdrängt. Gang III, 2. FüK.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

jüngstem Baryt noch wasserklarer, idiomorpher Fluorit auftritt (Flußspat III). Auch SCHÜRENBERG (1989: 336) schreibt, dass im Schauinsland auf den Gängen III und IV sowie auf dem Roggenbachgang im Niveau über ca. +1050 m NN Flußspatnegative im „jüngeren Quarz" auftreten. Damit sind im Schauinsland drei Fluoritgenerationen nachgewiesen, nämlich Flußspat I: präsulfidisch (Hauptmasse), Flußspat II: nach ZnS und PbS II; Flußspat III: nach Baryt II. Somit ist eine paragenetische Verwandtschaft mit den Erz- und Mineralgängen des Münstertals festzustellen.

In der **3. hydrothermalen Mineralisationsphase**, die mit einer letzten geringfügigen Gangöffnung und Brekziierung einherging, entstanden vielfach idiomorphe Kristalle von Pyrit-Markasit, Dolomit und Calcit, Baryt, Zinkblende und Bleiglanz.

Zu den aus mineralogischer Sicht bemerkenswerten Funden gehört eine Stufe mit idiomorphen Zinkblendekristallen, die Kristallgrößen von 5,5 cm erreichen (Tafel 16). Die schwarzgraue Zinkblende ist auf Quarz und Pyrit aufgewachsen und wird selbst teilweise von klaren Calcit xx und Barytrosetten überwachsen. Die in Tafel 16 abgebildete Stufe wurde um die Jahrhundertwende von einem Hofsgrunder Bergmann geborgen; nach der Paragenese dürfte sie aus Gang II stammen, der für seine schönen Mineralstufen berühmt geworden ist.

Sekundärmineralisation: Zu den mengenmäßig bedeutendsten Oxidationsmineralen des Nordfelds sind Limonit (aus Fe-reicher ZnS) und Hydrozinkit zu zählen, daneben Strontianit, Cerussit, Pyromorphit und Malachit. Der milchigweiße Hydrozinkit $Zn_5[(OH)_3/CO_3]_2$, der im langwelligen UV-Licht fahlblaue Fluoreszenz aufweist, bildet in den untertätigen Aufschlüssen schon nach wenigen Jahren mm bis cm dicke Tapeten, Stalaktiten und Krusten auf Bergematerial. Durch Neuuntersuchungen von Sammlungsmaterial wurden zahlreiche weitere Sekundärminerale wie Linarit, Cuprit, Hawleyit, Synchisit, Erythrin, Segnitit usw. festgestellt (SCHLOMANN 2000). Auf den Gängen des Südfelds (Barbara-Gang, Willnau-Gang, Gspreng-Gang, Farnackergänge) wurde besonders Pyromorphit häufig und örtlich auch in großer Menge angetroffen, der dort oft mit Bleiglanz und Mimetesit gemeinsam auftritt (METZ 1966). Über das Vorkommen von gediegen Silber im Bereich der Zementationszone, das in der mittelalterlichen Bergbauperiode von Bedeutung gewesen sein dürfte, liegen keine Daten über Art des Auftretens oder abgebaute Mengen vor. In einigen Erzen des Haldener Gangzugs (südl. Teil des Barbaragangs, vgl. Abb. 4) wurden Silbergehalte bis 1500 ppm nachgewiesen (METZ 1966: 38). Von mineralogischem Interesse ist die Beobachtung, dass im Gang VI auf der 4. FüK, rund 150 m unter dem Schauinslandgipfel, gediegen Silber in geringer Menge gefunden wurde (STEIBER 1986).

Im April 2000 wurde durch gewerbsmäßige Mineraliengräberei ein enger Zugang zum **Farnackergang II** im Gewann Farnacker, NE des Gießhübel, aufgewältigt (Lage: R: $^{34}15$ 995, H: $^{53}07$ 587), der aufgrund bergbehördlicher Anordnung aber im Mai 2000 wieder verschlossen wurde. Im Zuge der von der Forschergruppe Steiber durchgeführten Dokumentationsarbeiten der vermutlich hauptsächlich im 16.–17. Jh. betriebenen Grube war es möglich, den am Wirtschaftsweg gelegenen Stollen auf seine Gangtektonik und Mineralisation hin zu untersuchen. Diese einzige im Südfeld kurzzeitig zugängliche Grube baute auf Bleiglanz und hellgrünen bis grünlich-gelben Pyromorphit, der in Weitungsklüften Kristallrasen bildet (Tafel 10). Die in den mit Schlägel-Eisen-Arbeit und Sprengvortrieb aufgefahrenen Stollen, Überhauen und Gesenken noch vorhandene Pyromorphitmineralisation ist wenige Millimeter bis max. 2 cm mächtig. In Nestern tritt darin Bleiglanz auf, daneben viel

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

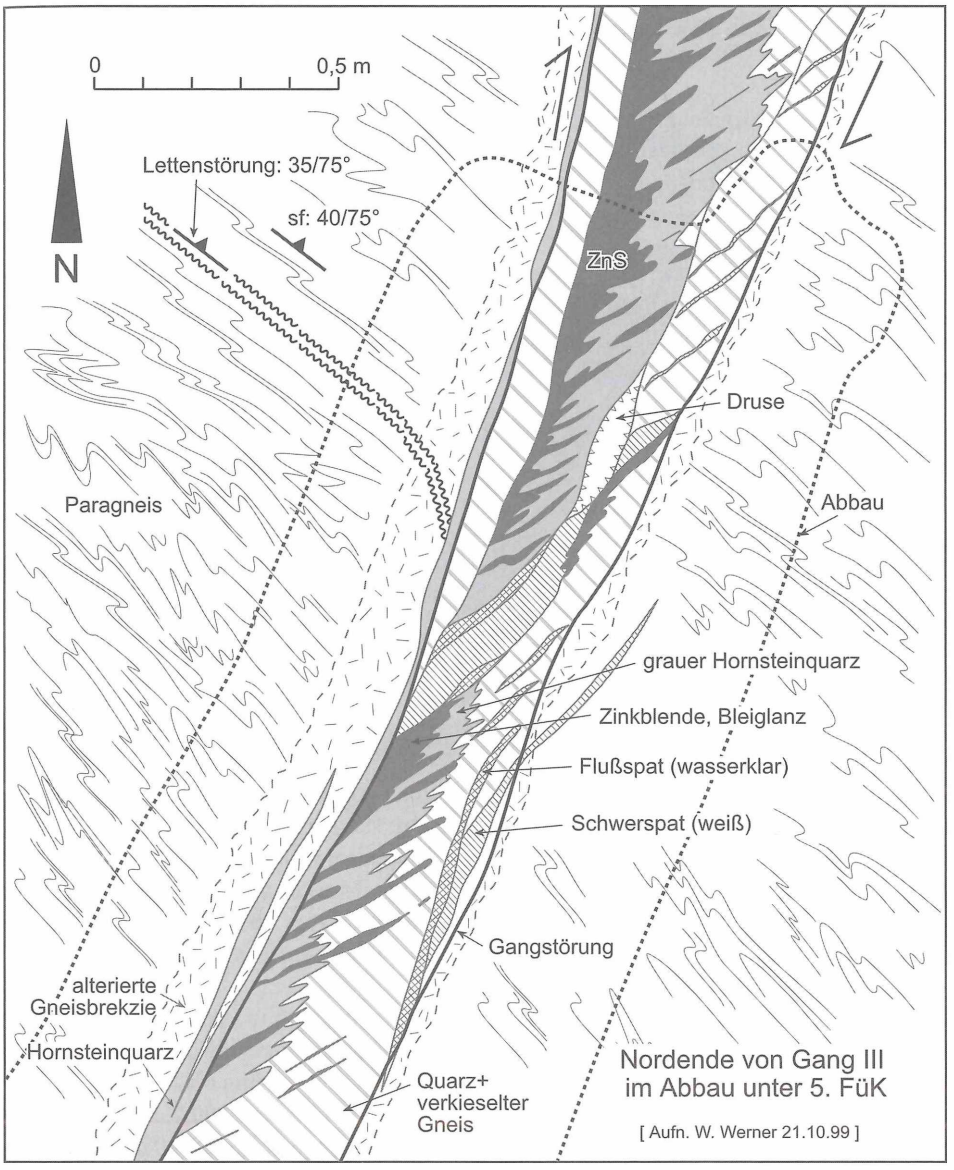


Abb. 14: Gang III im Abbau zwischen 4. und 5. Feldstrecke über Kapplersohle mit typischen strukturellen Elementen eines Erzganges am Schauinsland: Der Gang verläuft annähernd senkrecht zur Gneisfoliation (schematisch dargestellt). Eine Lettenstörung ist in die jüngere Gangstörung durch Rechtsseitenverschiebung eingeschleppt. Die spätere Gangspalte wird durch ein schmales Band von Hornsteinquarz vorgezeichnet. In einer brekziösen Grundmasse aus Quarz und verkieseltem Gneis kommt es zum fiederartigen Aufreißen und zur Mineralisation von grauem feinkörnigem Quarz (Hornsteinquarz) und Zinkblende I. Erneute dextrale Scherung ermöglicht die Öffnung von schmalen Fiedergängchen und die Mineralisation von Schwerspat, der hier durch jüngeren Flußspat begleitet wird.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

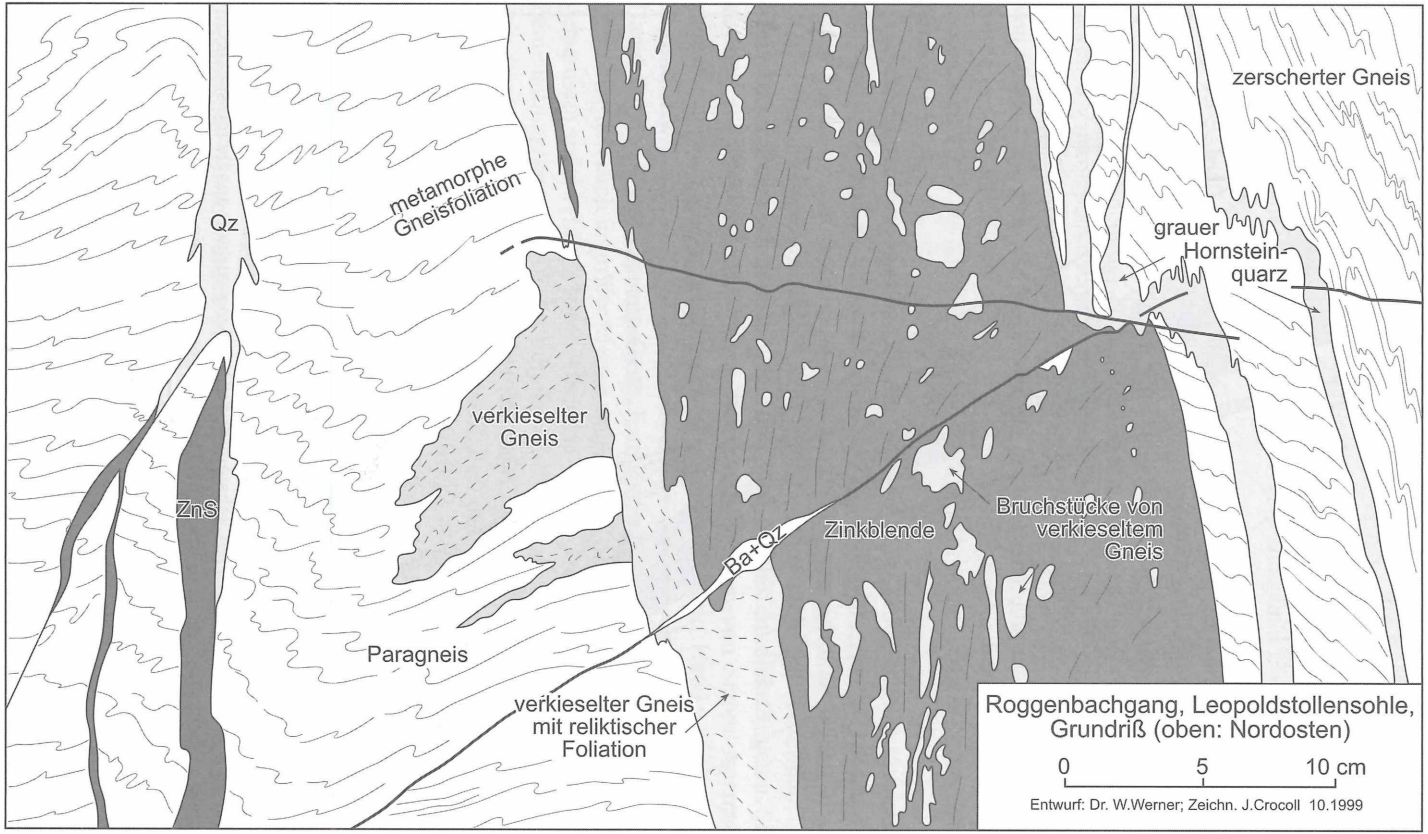


Abb. 15: Ausschnitt aus dem Roggenbachgang auf dem Leopoldstollen. Die dargestellten Strukturen einer aus der Firste entnommenen Gangscheibe wurden zeichnerisch auf die Sohle projiziert („Kartenbild", Norden: oben). Das hier nur 15 cm mächtige Gangtrum mit ZnS I und Bruchstücken von verkieseltem Gneis wird von grauem Hornsteinquarz gesäumt. Auch im Detail ist an der Einschleppung der reliktisch erhaltenen Foliation die dextrale Scherung ablesbar. Die Zinkblendekristalle sind bevorzugt in NNE- bis NE-Richtung gesproßt (gestrichelt).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Limonit. Das Nebengestein besteht aus einem in Kluftnähe meist stark gebleichten und mürben Feldspat-Biotit-Quarz-Paragneis (metamorphe Foliation: 190–200/30–50°, d. h. WNW– ESE streichend und halbsteil S fallend).

Die Pyromorphitmineralisation ist an eine Kluftschar gebunden, die in Abständen von 0,1–0,5 m den Gneis durchsetzt (Tafel 10). Die Klüfte sind nach der Öffnung allesamt als einfache Ost-fallende Abschiebungen aktiviert worden, wie schöne Harnisch-Rillungen auf grauen Kluftletten zeigen. Die Klüfte weisen folgende Raumlage auf (Fallvektor): 105–130/ 65–90°, selten 270/85°, verlaufen also parallel zu den Erzgängen des Nordfelds (Abb. 4), fallen aber gegensinnig zu diesen ein. Einzelne Klüfte mit 145/30° sind besonders weit geöffnet und enthalten Pyromorphittapeten mit besonders schönen Kristallen (Analyse Kap. 5.3). Es handelt sich hier offensichtlich um hydrothermal alterierte Weitungsklüfte, die vornehmlich Bleiglanz enthielten und unter Phosphatzufuhr oxidiert wurden.

5.3 Chemische Zusammensetzung der Erze

Im Zuge unserer Untersuchungen wurden die derzeit gut aufgeschlossenen Erzgänge III und VI zwischen 4. und 5. Feldstrecke ü. Kapplersohle beprobt. Die Proben wurden auf ihre Gehalte an 44 Haupt-, Neben- und Spurenelementen untersucht. In den nachfolgenden Tabellen 4–8 wurde z. T. nach der Analysenmethode (RFA: Röntgenfluoreszenz-Analyse; Neutronenaktivierung, ICP-MS: Induced Coupled Plasma-Massenspektrometrie), teilweise auch nach der Probenahme bzw. -aufbereitung unterschieden.

Die Tab. 4 zeigt, dass das Erz außerhalb der besonders reichen Partien (EP1-1, S984 und EP2) hohe SiO_2-Gehalte (52,5 –75,5 %) aufweist. Der ganz überwiegende SiO_2 -Anteil ist im Quarz gebunden, der auch im Zuge intensiver postsulfidischer Verkieselungen (Abb. 20 und Tafel 13) abgeschieden wurde. Auf diese Verkieselung, die in der Regel zu einer Abnahme der Metallgehalte auf den Gängen geführt hat, ist auch der geringe Karbonatgehalt der Gänge im Gipfelbereich des Schauinslands (4. FüK - Gegentrum II) zurückzuführen: obwohl z. B. im Gang II zwischen Leopold- und Kapplersohle (+ 850 bis + 1000 m NN) Kalkspat und Dolomit in großen Mengen auftritt, enthalten die beprobten Gänge im Gipfelbereich (+ 1140 bis + 1200 m NN) nur 0,33 % MgO und 0,24 % CaO. Hier kam es zu einer nahezu vollständigen Auflösung der Karbonate durch Quarz II und III (vgl. METZ et al. 1957: 131).

Das Zinkblendeerz enthält im beprobten Bereich zwischen der 4. FüK (d. h. 4. Feldstrecke über der Kapplersohle) und dem Gegentrum II-Stollen neben 48 % SiO_2 durchschnittlich 25,3 % Zn und 2,3 % Pb (Verhältnis rund 10 : 1), jeweils 0,02 % Sb und Cu sowie 0,06 % Ag (min. 0,001, max. 0,11 %) (Tab. 4). Nach WEBER (1997) ist in den Bleiglanz zwischen 0,07 und 0,2 % **Silber** eingebaut. SCHUMACHER (1911) berichtet, dass das anfangs des 20. Jh. geförderte Zinkblendeerz durchschnittlich 0,03 % Ag, das Bleiglanzerz 0,08 % Ag führte. Nach SLOTTA (1983: 1277) war der Silbergehalt im Fördererz von durchschnittlich 0,04 % Ag zur Zeit des Ausbruchs des I. Weltkriegs ausschlaggebend für den damaligen Fortbestand des Grubenbetriebs. Das Silber ist an Zinkblende und Bleiglanz gebunden und nur untergeordnet an feinverteilte Fahlerze, wie die sehr geringen Konzentrationen von Cu, Sb und As im Erz zeigen.

Zum Vergleich einige Silbergehalte in den Oberrheingraben-nahen Erzrevieren: Das Bleiglanzerz des Badenweiler-Quarzriffs, Grube Haus Baden, führt 0,03 % Ag, das Bleiglanz-Fahlerzkonzentrat aus den Barytgängen im Revier Freiamt–Sexau 0,07–0,1 % Ag, die

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Erze vom Riester-Himmelsehre-Gang bei Sulzburg 0,12 % Ag (WERNER & MATZ 1994: 304; WERNER et al. 2000), das Fahlerz-Bleiglanz-Erz vom Birkenberg bei St. Ulrich im Mittel in etwa 0,9–1 % Ag (SCHIFER 1999). Das Schauinslanderz liegt also mit durchschnittlich 0,06–0,1 % Ag im Mittelfeld.

Eisen: Untersuchungen von HURRLE (1978) ergaben, dass die Zinkblende der Schauinslander Gänge Eisengehalte zwischen 2,0 und 9,3 % aufweist (Mittel bei 5,5 %). Unsere Analysen wiesen im Zinkblendeerz Fe_2O_3-Gehalte zwischen 7,1 und 18,2 % (ca. 5–12,7 % Fe) nach (Tab. 5 und 6). **Cadmium**: In den Gangerzstufen (Zinkblende-Bleiglanz-Baryt-Quarz-Mischerz) wurde eine durchschnittliche Konzentration von 0,08 % Cd festgestellt (Tab. 4), in den Konzentraten von ZnS I zwischen 0,136 und 0,41 % (Tab. 5 und 6), im Mittel 0,27 %; ZnS II scheint geringe Cd-Gehalte aufzuweisen (Tab. 6). HURRLE (1978) stellte durchschnittlich 0,21 % Cadmium in den Zinkblenden fest. Im Vergleich zu Zinkblenden der umgebenden Gangreviere sind die aus dem Schauinsland relativ Cd-arm; die Gänge im Untermünstertal und bei Wieden z. B. enthalten im Mittel 0,5 % Cd. In Tab. 8 sind mittels RFA ermittelte Analysen an Zinkblende-Halbkonzentraten aus dem Schauinsland solchen aus anderen Zinkblende-reichen Erzgängen und dem submarin-hydrothermalen Erzlager Rammelberg im Harz gegenüber gestellt. Die devonischen sedimentären Erze des Rammelsbergs und variszischen syntektonischen Erze der Grube Ramsbeck im Sauerland sind so fein verwachsen (Zinkblende/Bleiglanz/Pyrit bzw. Zinkblende/Pyrit/Quarz), dass die RFA-Analyse nur am von der Gangart befreiten Mischerz möglich war. Deutlich kommt jedoch zum Ausdruck, dass der Cadmiumgehalt der känomesozoischen Zinkblendeerze (Schauinsland 2700 ppm, Teufelsgrund 1570 ppm; Bad Grund im Oberharz 3300 ppm) meist deutlich über dem der devonisch–karbonischen Erze liegt (Ramsbeck im Ostsauerland 620 ppm, Rammelsberg 870 ppm), wohingegen es sich beim Kobaltgehalt umgekehrt verhält.

Während **Gold** und **Platin** in geringsten Spuren im Sulfiderz enthalten sind (1–14 ppb Au, 16 ppb Pt, Tab. 4), sind die Gehalte von **Indium** in einer Probe bemerkenswert hoch. Zinkblende ist meist das Hauptträgermineral dieses Wertmetalls, das zu den gesuchten Metallen für die Erzeugung von Hochtechnologieprodukten vor allem im Elektronikbereich gehört (SCHWARZ-SCHAMPERA & HERZIG 1999). In Zinkblenden aus verschiedenen russischen Lagerstätten wurden Indiumgehalte zwischen einigen Zehner ppm und 5000 ppm festgestellt, während die Hintergrundwerte in Metamorphiten bei nur rund 100 ppb In liegen (LINN & SCHMITT 1972). Die sehr eisenreiche Zinkblende aus Gang VI auf der 4. FüK enthielt in einer Probe 1730 ppm Indium (Tab. 5), jedoch konnten in den Zinkblenden an anderen Probenahmepunkten nur 8–28 ppm In festgestellt werden (Tab. 4).

Germanium: Interessant sind auch die hohen Germaniumgehalte der Zinkblendeerze. In den Halbkonzentraten aus den Zinkblende-reichen Erzen der Gruben Teufelsgrund im Münstertal, Bad Grund und Rammelsberg im Harz sowie Ramsbeck im Ostsauerland, die zum Vergleich untersucht wurden, lagen die Germaniumgehalte unter der analytischen Nachweisgrenze. Die Zinkblenden aus den Gängen III, VI und Diagonaltrum 4 enthalten hingegen 100 bis 1200 ppm Ge, im Mittel 570 ppm Ge (Tab. 5, und 8). **Gallium**: Die vorliegende Galliumanalysen liefern einen Mittelwert von knapp über 200 ppm Ga (min. 5 ppm, max. 538 ppm) (Tab. 5 und 6). Die niedrigsten Galliumgehalte treten in der sehr eisenreichen, schwarzen Zinkblende (8,9–12,7 % Fe) von Gang VI im Niveau der 4. Feldstrecke über Kapplersohle auf (Abb. 20, Tafel 13). Die Zinkblenderze der Gänge Kropbach (Münstertal) und Wildtal (Zähringen) enthalten deutlich weniger Gallium (31–94 ppm).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 4 Chemische Zusammensetzung von Erzproben aus der Ganglagerstätte „Schauinsland". Proben EP1-1 bis EP1-4: Reiche Ganzerzstufen aus Gang VI, 4. FüK, im Einzelnen: EP1-1: Grobkörnige derbe Zinkblende, Proben EP1-2 und -3: Grob- und mittelkörnige Zinkblende mit Verdrängungsquarz. Probe EP1-4: fein- bis mittelkörnige Zinkblende mit viel Verdrängungsquarz und -baryt. EP 2: Derbes Bleiglanzerz, Gang III, ablaufendes Trum in Bergemühle, 4. FüK. Proben S 984–988: Zink-Bleierz-Mischproben, Entnahmeorte: S 984: Gang III, Abbausohle unter 5. FüK; S 986: Diagonaltrum 4, 4. FüK; S 989: Diagonaltrum 4., 4. FüK, Ortsbrust; S 990: Gang VI, Gegentrum II-Stollen, 10 m vor Transportschacht.

Analytik: EP1-1 bis EP1-4 und EP2: RFA-Analysen am LGRB (Freiburg), S 984–990: RFA-Analysen an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hannover). Au- und Pt-Analytik: Neutronenaktivierung (Actlabs, Canada). < Gehalte unter Nachweisgrenze; --- keine Analyse; FüK = Feldstecke über Kapplersohle.

Element	EP1-1	EP1-2	EP1-3	EP1-4	S 984	S 986	S 989	S 990	EP2
Zn (%)	63,63	25,0	24,9	9,2	43,8	10,3	10,8	13,7	9,6
Pb (%)	0,04	0,05	4,8	2,3	8,7	1,2	1,6	0,01	58,1
Cu (%)	0,04	0,02	0,04	0,02	<	<	<	0,005	0,13
Sb (%)	0,02	0,01	0,06	0,02	0,07	0,005	0,01	0,004	0,68
Ag (%)	0,1	0,05	0,05	0,02	---	---	---	---	0,11
Au (ppb)	---	---	---	---	16	1	---	1	---
Pt (ppb)	---	---	---	---	13	6	---	14	---
Ba (%)	0,19	0,06	0,04	3,22	0,15	0,03	0,02	0,02	0,04
Fe_2O_3 (%)	7,3	3,86	3,14	1,72	6,0	3,5	2,35	3,6	2,14
MnO (%)	0,035	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,025	0,01	0,05
As (%)	<	<	<	<	0,12	0,007	0,002	0,002	<
Bi (%)	<	<	<	<	<	<	<	<	0,04
Cd (%)	0,21	0,08	0,07	0,03	---	---	---	---	0,02
Co (%)	<	<	0,01	<	0,002	0,001	0,002	<	0,07
Cr (%)	<	<	0,02	0,01	0,001	0,003	0,006	0,006	0,02
Ga (%)	0,04	0,02	0,02	<	<	<	<	<	<
Ge (%)	0,05	0,03	0,02	0,01	---	---	---	---	<
SO_4-S (%)	27,4	12,4	14,4	7,1	---	---	---	---	13,3
SiO_2 (%)	0,42	52,5	52,5	75,7	14,4	61,2	64,5	64,0	13,8
Al_2O_3 (%)	0,04	5,0	0,18	0,25	1,68	10,2	7,76	6,96	0,61
MgO (%)	0,47	0,43	0,25	0,14	<	0,56	0,43	0,33	0,39
CaO (%)	0,05	0,27	0,15	0,19	0,08	0,37	0,84	0,08	0,11
Na_2O (%)	<	<	<	<	<	0,89	1,48	0,1	<
K_2O	<	1,2	0,01	0,16	0,53	1,94	1,57	1,73	0,15
TiO_2	<	<	<	<	0,05	0,3	0,02	0,4	<

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 5 Chemische Zusammensetzung von Zinkblende (isolierte Kornaggregate) und Hydrozinkit ($Zn_5[(OH)_6/CO_3]_2$) aus der Ganglagerstätte Schauinsland. Proben: 170786-1: Gang VI, 4. FüK, Bremsberg; 170786-2: Diagonaltrum 1, 3. FüK; S 984: Gang III, Abbausohle unter 5. FüK; S 986: Diagonaltrum 4, 4. FüK; S 990: Gang VI, Gegentrum II-Stollen, 10 m vor Transportschacht.

Analytik: Proben 170786-1 und -2: Flammen-AAS-Analysen am LGRB (Freiburg), Proben S 984–990: ICP-MS-Analysen an der BGR (Hannover). < Gehalte unter Nachweisgrenze; --- keine Analyse .

	Zinkblende Pr.170786-1	**Zinkblende S984**	**Zinkblende S986**	**Zinkblende S990**	**Hydrozinkit Pr. 170786-2**
Zn (%)	53,41	>10,0	>10,0	>10,0	57,4
Pb (%)	---	0,269	0,269	0,27	
Cu (%)	0,047	0,069	0,076	0,088	0,018
Fe_2O_3 (%)	18,2	---	---	---	0,084
MnO (%)	0,24	---	---	---	0,015
Ag (ppm)	10	155	103	113	40
Cd (ppm)	1950	3150	3510	4100	460
Co (ppm)	---	23	61	47	---
Ga (ppm)	5	298	245	538	< 5
Ge (ppm)	120	872	656	1220	< 5
Hg (ppm)	3	0,5	1,3	3,1	< 1
In (ppm)	1730	18	8	28	200
Sb (ppm)	---	1600	104	598	---
Se (ppm)	< 1	75	98	95	< 1
Tl (ppm)	10	80	7	85	< 5

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 6 Spurenelementgehalte von Zinkblenden (isolierte Kornaggregate) der Schauinslandgänge und benachbarter Erzgänge am Schwarzwaldrand. MKR 1–3: Gänge III, unter 5. FüK, und VI, 4. FüK der Grube Schauinsland. MKR 4: Erzgang im Steinbruch Kropbach (Münstertal). MKR 5: Erz von der Halde einer Grube bei Freiburg-Wildtal (vgl. Tab. 7). Analytik: ICP-MS und RFA (Angaben *kursiv*). Messungen: Juni–Juli 2000, H. LORENZ, BGR (Hannover). Die Gehalte an Quecksilber (Hg) und Selen (Se) konnten mit diesen Methoden nur ungenau bestimmt werden.

Probe / **Element**	**MKR 1 Gang III ZnS I**	**MKR 2 Gang VI ZnS I**	**MKR 3 Gang VI, ZnS II**	**MKR 4 Kropbach**	**MKR 5 Wildtal**
Ag (ppm)	1040	186	405	83	104
Al_2O_3 (ppm)	*4400*	*1200*	*1500*	*900*	*2300*
As (ppm)	54	7	7	25	127
Ba (ppm)	24	200	4430	184	4
Bi (ppm)	0,1	< 0,01	< 0,01	1,1	0,02
CaO (ppm)	*300*	*150*	*240*	*460*	*570*
Cd (ppm)	1360	1700	800	2800	2910
Co (ppm)	13	173	61	17	10
Cr (ppm)	*39*	*13*	*11*	*10*	*187*
Cu (ppm)	674	380	238	1150	804
Fe_2O_3 (%)	*8,13*	*12,83*	*7,1*	*11,03*	*4,85*
Ga (ppm)	157	156	85	31	94
Ge (ppm)	448	102	567	10	120
(Hg) (ppm)	4,6	5,5	2,2	9,3	7,2
In (ppm)	10	21	4	75	0,1
K_2O (ppm)	*1200*	*440*	*310*	*700*	*800*
MnO (ppm)	*390*	*310*	*120*	*170*	*390*
Ni (ppm)	3	2	1	13	21
Pb (ppm)	> 5000	201	3460	710	984
Pb (ppm)	*74730*	*120*	*3080*	*680*	*740*
Rb (ppm)	4	1	1	2	3
Sb (ppm)	85	106	70	72	261
(Se) (ppm)	17	17	16	17	18
SiO_2 (%)	2,9	3,98	8,42	5,15	4,15
Sn (ppm)	3	33	9	86	0,6
Sr (ppm)	14	18	67	14	12
Tl (ppm)	57	1,7	28	0,6	0,3
U (ppm)	0,2	0,01	0,03	0,2	0,02
W (ppm)	0,07	0,06	0,4	0,15	0,13
Zn (%)	*52,3*	*54,6*	*55,14*	*55,0*	*59,46*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 7 Gehalte an Seltenerdelementen (SEE) in Zinkblenden (isolierte Kornaggregate) des Schauinslands und benachbarter Gänge am Schwarzwaldrand. MKR 1–3: Gänge III, unter 5. FüK, und VI, 4. FüK der Grube Schauinsland. MKR 4: Erzgang im Steinbruch Kropbach (Münstertal). MKR 5: Erz von der Halde einer Grube bei Freiburg-Wildtal (vgl. Tab. 6). Analytik: ICP-MS. Messungen: Juni 2000, H. Lorenz, BGR (Hannover)

Probe / Element	MKR 1 Gang III	MKR 2 Gang VI	MKR 3 Gang VI, ZnS II	MKR 4 Kropbach	MKR 5 Wildtal
Pr (ppm)	0,08	0,07	0,03	0,32	0,1
Nd (ppm)	0,2	0,3	0,1	1,3	0,4
Sm (ppm)	0,07	0,05	0,05	0,2	0,1
Eu (ppm)	0,01	0,006	<0,002	0,05	0,05
Gd (ppm)	0,05	0,04	0,03	0,19	0,1
Tb (ppm)	0,008	0,005	0,004	0,026	0,017
Dy (ppm)	0,037	0,012	0,027	0,11	0,08
Ho (ppm)	0,006	0,004	0,004	0,019	0,015
Er (ppm)	0,008	0,008	0,005	0,045	0,044
Tm (ppm)	0,002	<0,002	<0,002	0,007	0,006
Yb (ppm)	0,015	0,011	0,01	0,051	0,056
Lu (ppm)	<0,002	<0,002	<0,002	0,007	0,009

Die Spurenelementgehalte der untersuchten reichen Zinkblendeerze (Tab. 6 und 7) zeigen, dass die Gänge am Schwarzwaldrand (Kropbach, Wildtal) und des Schauinslands große chemische Ähnlichkeit aufweisen. Die Zinkgehalte schwanken zwischen 52 und 59,5 %; die Anteile an Co, Cu, Fe und Sb liegen alle in der gleichen Größenordnung. Die etwas Cd-reicheren Zinkblenden von Kropbach und Wildtal weisen zwar 3–8 Mal höhere SEE-Werte auf, jedoch sind diese Gehalte sehr gering, vergleicht man sie mit denen in den Quarz-Flußspatgängen des Schwarzwalds. Da die SEE-Elemente gut in Ca-Minerale (Calcit, Fluorit usw.) eingebaut werden können, die am Schauinsland durch nachfolgende SiO_2-reiche Hydrothermen wieder aufgelöst wurden (Kap. 5.1), liegen die SEE-Gehalte in Flußspatgängen um 100 bis 1000 Mal höher als in den Zink-Blei-Erzgängen des Untersuchungsgebiets (vgl. MÖLLER et al.1982).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 8 Vergleich der chemischen Zusammensetzung von Zinkblende-Halbkonzentraten (Kornverwachsungen nicht getrennt) aus den Ganglagerstätten Schauinsland (Gang III unter 5. FüK und Gang VI, 4. FüK, EP1-1 aus Tab. 4), Grube Teufelsgrund im Münstertal (Halde), Bad Grund im Oberharz (Grube Segen Gottes, Baufeld 2016W, tiefste Sohle) und Grube Ramsbeck im Ostsauerland (Halde) sowie mit dem submarin-hydrothermalen Erzlager der Grube Rammelsberg bei Goslar im Oberharz (Neues Lager, tiefste Sohle). Für die Grube Schauinsland sind auch die Minimal- und Maximalwerte der in dieser Arbeit untersuchten Gangstufen angegeben (*Mischerze, Zinkblende nicht konzentriert* – Proben EP1-2 bis S 990, s. Tab. 4).

Analytik: RFA-Analysen am LGRB (Freiburg). < unter Nachweisgrenze; --- keine Analyse (Hg, Se und Tl stets unter Nachweisgrenze)

	Schauinsland, Gang III	**Schauinsland, Gang VI (EP1-1)**	**Schauinsland-Gangstufen (min.–max.)**	**Teufelsgrund**	**Bad Grund**	**Ramsbeck**	**Rammelsberg**
Zn (%)	48,50	63,63	9,2–43,8	35,85	63,3	38,8	41,81
Pb (%)	0,12	0,04	0,01–8,7	0,04	0,08	0,23	11,75
Cu (%)	0,04	0,04	0,005–0,04	0,05	0,05	0,04	0,72
SO_4-S (%)	23,5	27,4	7,1–14,4	17,8	27,4	23,1	22,1
Fe_2O_3 (%)	6,1	7,3	1,7–6,0	5,17	3,64	14,38	13,73
MnO (%)	<	0,035	0,01–0,03	<	<	0,44	0,39
SiO_2 (%)	17,7	0,42	14,4–75,7	38,4	4,2	21,94	2,8
Al_2O_3 (%)	2,43	0,04	0,16–10,2	1,5	0,47	0,42	0,7
CaO (%)	0,37	0,05	0,08–0,84	0,3	0,3	<	0,43
MgO (%)	0,09	0,47	< - 0,56	0,07	0,09	0,16	0,24
Ba (%)	0,09	0,18	0,04–3,22	0,08	<	<	4,92
Ag (ppm)	830	1000	200–500	180	<	<	<
As (ppm)	<	<	< - 1200	<	<	1460	<
Cd (ppm)	1400	2100	< - 800	1570	3300	620	870
Co (ppm)	190	<	< - 100	210	<	510	400
Ga (ppm)	<	400	< - 200	<	<	<	<
Ge (ppm)	540	500	< - 300	<	<	<	<
In (ppm)	22	---	(8–1730)	53	91	49	45
Sb (ppm)	<	200	50–700	<	<	<	1070
Summe	99,24	100,03	---	99,46	99,87	99,72	99,82

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Chemische Zusammensetzung der Pyromorphitmineralisation aus dem Stollen auf dem Farnacker-II-Gang (E Gießhübel, N Stohren; R ^{34}15 995; H ^{53}07 587; Höhe ca. 1070 m NN): Es war zuvor berichtet worden (Kap. 5.1), dass am Stohren umfangreiche Bergbauanlagen zum Abbau von Pyromorphit ($Pb_5[Cl/(PO_4)_3]$) und untergeordnet Bleiglanz existieren (Tafel 10). Die Mineralisation tritt auf Klüften auf. Diese Farnackergänge werden seit METZ et al. (1957: 31) als südwestliche Fortsetzung von Gang II angesehen – eine Ansicht, die wir nicht vertreten können, da Gang II und der Gsprenggang viel größere paragenetische Ähnlichkeiten aufweisen und die Mineralisation in der Grube im Farnacker deutlich von der des Ganges II abweicht (auch die Gangtektonik ist völlig unterschiedlich, Kap. 6.1). Die hellgrünen Pyromorphittapeten sitzen alteriertem Gneis, einem Quarz-Feldspat-Kaolinit-Gestein, auf. Die Klufttapeten bestehen chemisch aus 76,8 % Pb, 1,91 % Cl, 10,43 % P_2O_5 (= 7,73 % PO_4) und zu ca. 14 % aus Quarz, Feldspat, Glimmer und Kaolinit (LGRB-Analyse Nr. 20005952). Der Pyromorphit stellt ein reiches, unter Zugabe von Flußspat gut zu verhüttendes Bleierz dar. Der vom Farnacker ist sehr rein und enthält nur Spuren anderer Metalle (Ag < 50 ppm, Cd < 50 ppm, Cu < 50 ppm, Cr 250 ppm, Ni = 200 ppm, Zn = 250 ppm). Der geringe Silbergehalt im Grünbleierz macht wahrscheinlich, dass in dieser Grube der Bergbau vornehmlich dem Blei galt.

5.4 Flüssigkeitseinschlüsse und Isotope

Fluidsysteme: Umfangreiche Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen in Gesteinsquarzen sowie Erz- und Gangartmineralen (Abb. 16) wurden in den vergangenen 10 Jahren auch an Mineralisationen aus dem Schwarzwald durchgeführt. Ergebnisse für Vererzungen am Schauinsland und seiner Umgebung sind in Abb. 17 dargestellt. In den gezeigten vier Diagrammen zur Ergebnisdarstellung mikrothermometrischer Untersuchungen sind auf der x-Achse die Homogenisierungstemperaturen zweiphasiger Flüssigkeitseinschlüsse gegen die Schmelztemperaturen der Einschlüssfüllungen (y-Achse) aufgetragen. Die Homogenisierungstemperaturen (T_h) stellen die Mindestbildungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen dar und müssen zur Rekonstruktion der ursprünglichen Temperaturen der mineralisierenden Hydrothermen entsprechend des umgebenden Gebirgsdruckes zur Zeit der Einschlussbildung nach oben, d. h. zu höheren Temperaturen, korrigiert werden (POTTER 1977). Die Gesamtsalinität ergibt sich aus den Schmelztemperaturen der Einschlussfüllungen (T_m). Dabei gilt: je niedriger die T_m-Eis-Werte, desto höher die Gesamtsalinität.

Die Meßdaten an Flüssigkeitseinschlüssen aus Hydrothermalgängen des südlichen Schwarzwalds belegen, dass zwei Fluidsysteme unterschieden werden können: 1.) Ein spätvariszisches Fluidsystem, das durch niedrige Salinitäten und hohe Temperaturen bis zu 400 °C charakterisiert ist. 2) Ein hochsalinares Lösungssystem, aus dem zu postvariszischer Zeit Mineralabsätze unterhalb 200 °C erfolgten. Das spätvariszische System ist in Gesteinsfluiden sowie in Flüssigkeitseinschlüssen in Quarzen von Wolfram- und Uran-Mineralisationen erhalten (BEHR, HORN et al. 1986, SIMON & HOEFS 1987, WERNER et al. 1990, HOFMANN & EIKENBERG 1991). Das hochsalinare, $CaCl_2$-NaCl-betonte postvariszische (känomesozoische) Fluidsystem ist hingegen in allen bislang untersuchten gangförmigen Pb-Zn-F-Ba-Mineralisationen im südlichen und mittleren Schwarzwald nachgewiesen worden (DEMSKI 1980, BEHR et al. 1987, MITTELSTÄDT 1987, LÜDERS & FRANZKE 1993, LÜDERS 1994).

Der Absatz von Zinkblende sowie der Gangartminerale Quarz und Calcit auf Gangstrukturen im Bereich der Grube Schauinsland geht auf das postvariszische Fluidsystem

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

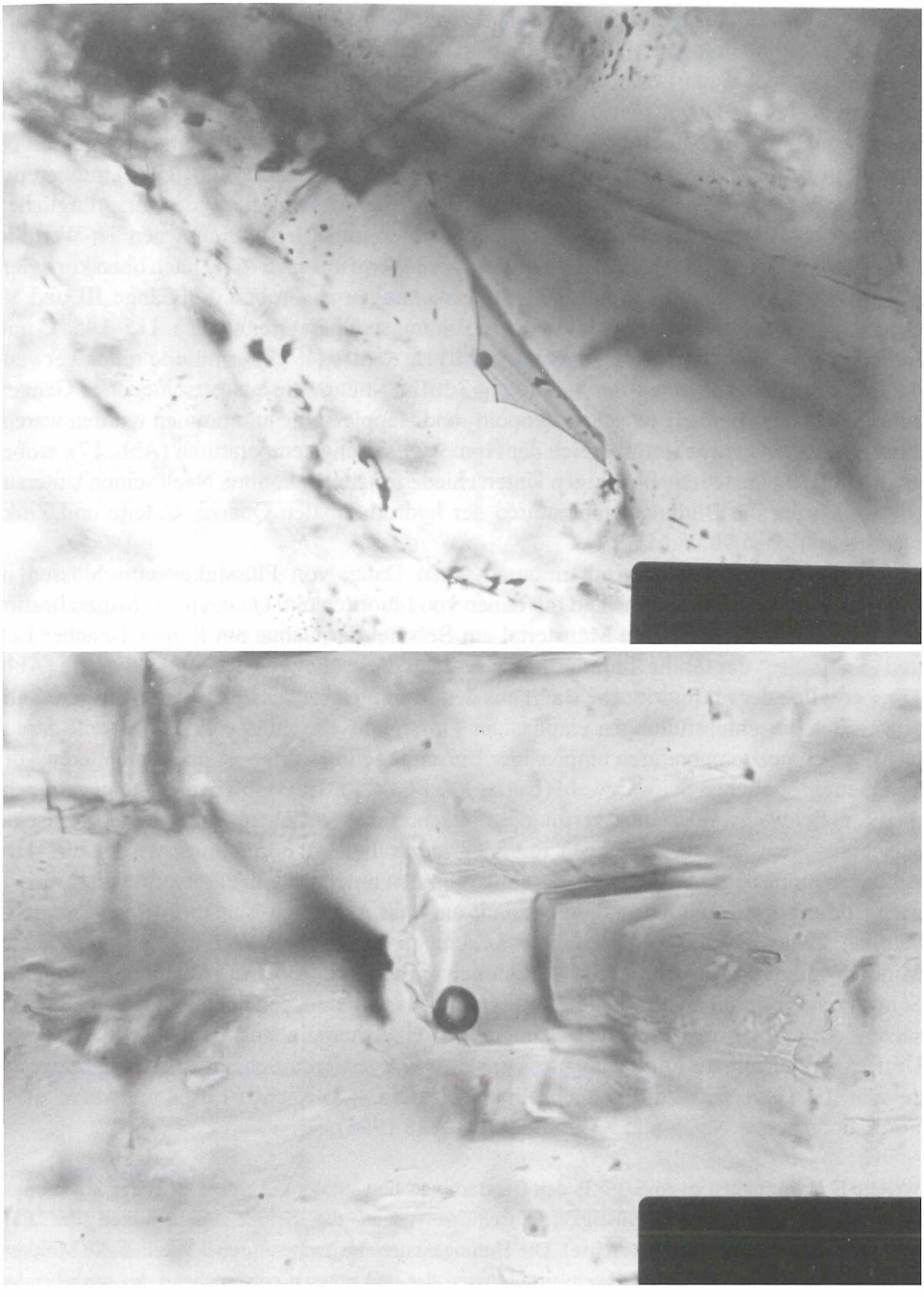


Abb. 16: Oben: Flüssigkeitseinschlüsse in Zinkblende, Gang VI, Grube Schauinsland (Größe der Einschlüsse 15–20 µm). Unten: Flüssigkeitseinschluss in Fluorit, Grube Teufelsgrund (Größe des Einschlusses ca. 35–40 µm) (Fotos: V. LÜDERS).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

zurück (Abb. 17). Aus dem Schmelzverlauf zweiphasiger Flüssigkeitseinschlüsse in Quarz und Calcit ergibt sich eine mittlere Gesamtsalinität von 25,2 Gewicht % ($CaCl_2$ + NaCl-Äquivalent), wobei die Lösungszusammensetzung von Flüssigkeitseinschlüssen in Quarz und Calcit 11,3–14 Gew.% $CaCl_2$ und 11–13,6 Gew.% NaCl beträgt (MITTELSTÄDT 1987). Unter Annahme einer Gebirgsbedeckung heutiger oberflächennaher Gangaufschlüsse von ca. 500 m zum Zeitpunkt der Mineralisation (vgl. BOIGK & SCHÖNEICH 1970) müssen die gemessenen Homogenisierungstemperaturen zur Berücksichtigung des ursprünglichen Auflastdruckes korrigiert werden. Für die mikrothermometrisch gemessenen Th-Werte in Diagrammen der Abb. 17 bedeutet dies, dass diese Werte um ca. 5–6 °C nach oben korrigiert werden müssen. Anhand der Einschlussuntersuchungen an Proben der Gänge III und VI (beide auf der 4. FüK) lassen sich für Quarz Bildungstemperaturen von ca. 115–145 °C und für Zinkblende von ca. 120 °C berechnen. MITTELSTÄDT (1987) ermittelte unter Verwendung zahlreicher Proben aus der Sammlung SCHÜRENBERG, die aus verschiedenen Gängen zumeist aus dem Bereich zwischen Leopold- und Kapplersohle entnommen worden waren, einen größeren Schwankungsbereich der Homogenisierungstemperaturen (Abb. 17), wobei er allerdings keine teufenabhängigen Unterschiede feststellen konnte. Nach seinen Untersuchungen lagen die Bildungstemperaturen der hydrothermalen Quarze, Calcite und Zinkblenden zwischen 90 und 150 °C.

Vergleicht man die mikrothermometrischen Daten von Flüssigkeitseinschlüssen in Mineralen der Grube Schauinsland mit denen von Fluoriten und Quarzen aus Mineralisationen im südlich angrenzenden Münstertal am Beispiel der Gänge am Rammelsbacher Eck und „Schindler" der Grube Teufelgrund, so zeigen diese ähnliche T_m- und T_h-Werte (Abb. 17). Lediglich der präfluoritische Baryt aus dem Rammelsbacher Eck weist niedrigere Salinitäten der Einschlussfüllungen einphasiger Flüssigkeitseinschlüsse auf. Die breite Streuung der Schmelztemperaturen einphasiger Einschlüsse in Baryten ist auch in anderen Vorkommen im südlichen Schwarzwald (LÜDERS & FRANZKE 1993) sowie in Mineralisationen, die der Schwarzwaldrandverwerfung aufsitzen, zu beobachten und deutet auf eine Mischung hochsalinarer Lösungen mit niedriger salinaren Formationswässern hin. Das Auftreten einphasiger Flüssigkeitseinschlüsse in den untersuchten Baryten indiziert niedrigere Bildungstemperaturen und zeigt somit an, dass die zugemischten Formationswässer deutlich kühler als die hydrothermale Lösung gewesen sind. Während postvariszische Mineralisationen (Ausnahme Baryt Rammelsbacher Eck, s.o.) innerhalb des südlichen Schwarzwalds durch hochsalinare Fluide charakterisiert sind, scheinen bei den Mineralabsätzen, die entlang den Randverwerfungen des Oberrheingrabens erfolgten, im größeren Umfang mittelsalinare Fluide aus mesozoischen und tertiären Schichten beteiligt gewesen zu sein. Im Gegensatz zu den hochsalinaren NaCl-$CaCl_2$-reichen Lösungen waren diese Formationswässer NaCl- und KCl-haltig (LÜDERS 1994).

Weitere Erläurterungen zu Abb. 17: In den Diagrammen sind auf der x-Achse die Homogenisierungstemperaturen zweiphasiger Flüssigkeitseinschlüsse gegen die Schmelztemperaturen der Einschlussfüllungen abgetragen (y-Achse). Die Homogenisierungstemperaturen Th stellen die Mindestbildungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen dar und müssen entsprechend des umgebenden Druckes im Gangraum zum Zeitpunkt der Mineralisation (Einschlussbildung) nach oben, d. h. zu höheren Temperaturen korrigiert werden (am Schauinsland ca. 5–6 °C). Die Gesamtsalinität ergibt sich aus den Schmelztemperaturen Tm der Einschlussfüllungen. Je niedriger die Werte von Tm-Eis liegen, desto höher ist die Gesamtsalinität. Weitere Erläuterungen s. Text.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

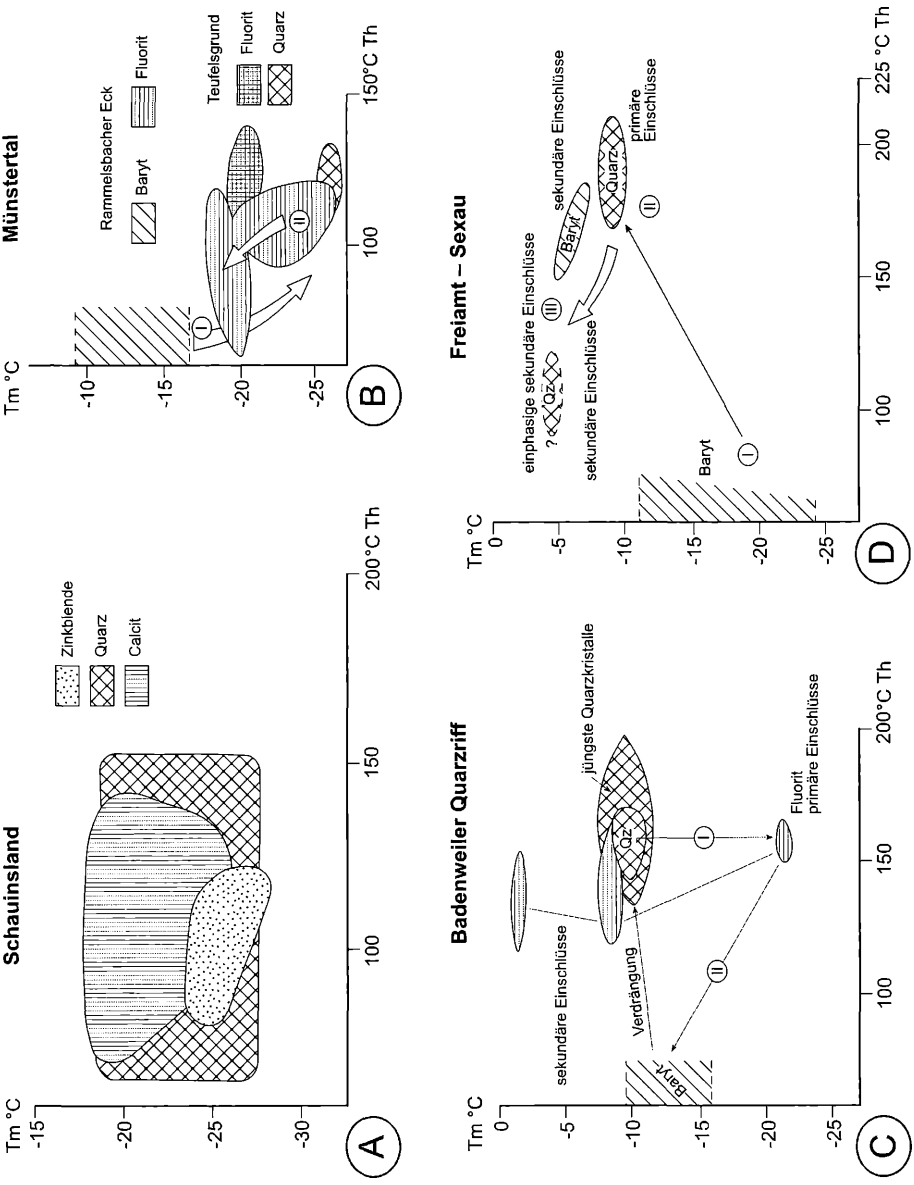


Abb. 17: Tm/Th-Diagramme zur Darstellung der Ergebnisse mikrothermometrischer Messungen an Flüssigkeitseinschlüssen in Erz- und Gangartmineralen der Zinkblendegänge am Schauinsland (Diagramm A), der Fluorigänge im Münstertal (B), der Randstörung bei Badenweiler aufsitzenden Quarz-Barytgänge (C) und der Schwerspatgänge des Reviers Freiamt–Sexau (D). [Weitere Erläuterungen siehe S. 56 unten]

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Herkunftsbereiche der mineralbildenden Lösungen: Chemische Untersuchungen zur Verteilung von Seltenerdelementen (SEE) in Fluoritmineralisationen im südlichen Schwarzwald deuten auf ein einheitliches Fluidreservoir hin, das in den Gneisen des kristallinen Grundgebirges vermutet wird (LÜDERS & FRANZKE 1993). Blei- und Strontiumisotopische Untersuchungen weisen auf einen Herkunftsbereich der Lösungen aus dem Grundgebirge; eine Herkunft der Metalle aus dem ehemals überlagernden Deckgebirge ist unwahrscheinlich (WEBER 1998). Schwefelisotopenuntersuchungen an Sulfiden und Baryten der Grube Schauinsland lassen vermuten, dass bei der Kristallisation von Sulfiden und Sulfaten verschiedene Lösungssysteme beteiligt waren (MITTELSTÄDT 1987). Alle Schwefelisotopenwerte der untersuchten Sulfide liegen im Bereich metamorpher Gesteine. Die ermittelten Messwerte von Baryt lassen sich hingegen mit einer Herkunft des Sulfatschwefels aus dem ehemals überlagernden Deckgebirge, einer Mischung von oxidierten Sulfiden mit Sulfat-reichen Lösungen oder mit einer sedimentär-hydrothermalen Umlagerung einer älteren Barytmineralisation erklären (MITTELSTÄDT 1987). Die Thermalwässer des südlichen Oberrheingrabens beziehen auch heute noch ihre Salzfracht aus den Schichten des Oligozäns (HELDMANN 1997); sie migrieren über die Grabenverwerfungen und die kommunizierenden Störungen im Grundgebirgssockel bis mindestens 20 km weit ins das Schwarzwaldkristallin hinein. STOBER & BUCHER (1999) vermuten, dass die im Kristallin nachweisbaren salzhaltigen Wässer großteils schon im Oligozän in das Grundgebirge infiltriert sind („fossiles Meerwasser").

5.5 Kohlenwasserstoffe

MITTELSTÄDT (1987:52) konnte bei seiner Untersuchung der Erzgänge des Schauinslands Bitumenreste in der eisenreichen Zinkblende feststellen. JOCHUM wies auf gaschromatographischem Wege niedrigmolekulare *n*-Alkane und aromatische Kohlenwasserstoffe in hydrothermaler Zinkblende und Bleiglanz aus den tertiärzeitlichen Barytgängen der Grube Caroline im Revier Freiamt-Sexau nach (berichtet in: GERMANN et al. 1994; Lage des Reviers in Abb. 2). Um die Ergebnisse zu überprüfen, wurden während der Untertagekartierung im Schauinsland aus der Hauptzinkblendevererzung (Zinkblende Ia und Ib) der Gänge III und VI im Niveau der 4. Feldstrecke über Kapplersohle Erzproben entnommen und im Institut für Erdöl und Organische Geochemie (ICG-4) des Forschungszentrums Jülich untersucht. Die eingesetzte Apparatur besteht aus einer Dekrepitationszelle, die unmittelbar mit einem Gaschromatographen verbunden ist (s. HORSFIELD et al. 1989). In der Dekrepitationszelle werden Kristallbruchstücke auf mechanischem Wege aufgebrochen. Die auf diese Weise aus Flüssigkeitseinschlüssen freiwerdenden Kohlenwasserstoffe können mit Hilfe der Gaschromatographie hinsichtlich ihrer molekularen Zusammensetzung charakterisiert werden. Details der Analytik sowie die Quantifizierung der Kohlenwasserstoffgehalte sind in JOCHUM (1999, 2000) beschrieben.

Insgesamt wurden vier Zinkblendeproben aus den Gängen des Schauinslands und vier weitere Erzproben aus anderen Gruben untersucht (Tab. 9). Die Ergebnisse der gaschromatographischen Analysen zeigen, dass die Flüssigkeitseinschlüsse in den Zinkblenden (Abb. 16) signifikante Kohlenwasserstoffkonzentrationen enthalten. Die Gesamt-Kohlenwasserstoffgehalte in den einzelnen Proben sind allerdings sehr variabel. So führt zum Bei-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

spiel eine Zinkblende eine sehr hohe Kohlenwasserstoffkonzentration (3,75 µg/g), während eine andere lediglich 0,13 µg pro g Zinkblende enthält. Dieser deutliche Unterschied muß mit der Häufigkeit der in den Sulfiden auftretenden Einschlüsse zusammenhängen. Folglich bedeutet eine hohe Gesamt-Kohlenwasserstoffkonzentration eine hohe Einschlusshäufigkeit, während ein geringer Gesamt-Kohlenwasserstoffgehalt auf eine niedrige Einschlussdichte im Mineral schließen läßt. In allen Proben wurden niedrigmolekulare *n*-Alkane (C_1-C_9) und Benzol nachgewiesen. Darüber hinaus konnte unabhängig vom Gesamt-Kohlenwasserstoffgehalt ein typisches Kohlenwasserstoff-Verteilungsmuster ermittelt werden (Tab. 9): In den Einschlüssen überwiegen mengenmäßig C_2-C_9-*n*-Alkane einschließlich Benzol; diese aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffe sind bezogen auf das Gesamtinventar mit 77 bis 99,5 % am häufigsten vertreten. Im Gegensatz liegt der Methan(C_1)-Anteil nur zwischen 0,5 und 23 %. Ein vergleichbares Kohlenwasserstoffinventar enthalten die Erzminerale Bleiglanz und Zinkblende der Barytgänge der Grube Caroline im Freiamt-Sexauer Revier (GERMANN et al. 1994 b; WERNER & FRANZKE 1994). So dominieren auch hier die C_2-C_9-*n*-Alkane, während Methan nur maximal 13,5 % des Gesamtinventars ausmacht. Zum Vergleich entnommene Proben aus der Grube Teufelsgrund im Münstertal und von der Grube Haus Baden am Badenweiler-Quarzriff, einem mächtigen Quarzgang genau auf der Schwarzwaldrandstörung, enthalten ebenfalls niedrigmolekulare *n*-Alkane und Benzol in den Flüssigkeitseinschlüssen der Sulfide Zinkblende und Bleiglanz (Tab. 9).

Tab. 9 Gehalte an Kohlenwasserstoffen (KW) in Sulfiden aus den Gangvererzungen der Gruben Schauinsland, Caroline im Revier Freiamt-Sexau, Teufelsgrund im Münstertal und Haus Baden am Badenweiler-Quarzriff. Angaben in µg/g Probe für die Kohlenwasserstoffgruppen Methan (C_1) und C_2-C_9-*n*-Alkane einschließlich Benzol sowie in Prozent bezogen auf den Gesamt-Kohlenwasserstoffgehalt.

Lokalität (Grube)	untersuchtes Erzmineral	Methan µg pro g Zinkblende	Anteil (%) von Methan in den KW	C_2-C_9-n-Alkane + Benzol µg/g Zinkblende	Anteil (%) von C_2-C_9-n-Alkanen + Benzol in den KW
Schauinsland	Zinkblende	0,01	3	0,32	97
Schauinsland	Zinkblende	0,03	23	0,1	77
Schauinsland	Zinkblende	0,02	0,5	3,73	99,5
Schauinsland	Zinkblende	0,01	2	0,5	98
Caroline/Sexau	Zinkblende	0,19	9	1,91	91
Caroline/Sexau	Bleiglanz	0,05	13,5	0,32	86,5
Teufelsgrund	Zinkblende	0,01	4,3	0,22	95,7
Haus Baden	Bleiglanz	0	0	0,12	100

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Als potentielle Muttergesteine der in den Vererzungen auftretenden Kohlenwasserstoffe müssen die unteroligozänen Pechelbronner Schichten des Oberrheingrabens in Betracht gezogen werden. Diese bestehen aus marinem organischen Material mit Anteilen eingeschwemmter Landpflanzen (Kerogentyp II). Das charakteristische Verteilungsmuster der in den Sulfiden eingeschlossenen Kohlenwasserstoffe deutet klar auf ein Muttergestein diesen Kerogentyps hin.

6. Tektonik der Lagerstätte

6.1 Gangstörungen, Erz- und Mineralgänge

Bisher konnten insgesamt 11 bergbaulich wichtige Hauptgänge mit generellem NNE-SSW- bis NE-SW-Streichen nachgewiesen werden (METZ et al. 1957: Abb. 7 & 56; METZ 1966: Beil. 1; HÜTTNER & WIMMENAUER 1967: Abb. 2; STEIBER 1986: 6), die innerhalb einer fast 1700 m breiten und mindestens 3500 m langen Störungszone liegen. Die für den Bergbau wichtigen Gänge lassen sich drei Hauptstörungen zuordnen (Abb. 4): (1) Gang II, (2) Zone Gsprenggang–Barbaragang mit nördlicher Fortsetzung im Roggenbachgang und (3) Lochmattengang. Die Hauptstörungen verlaufen parallel zum Oberrheingraben. Die einzelnen teilweise mineralisierten Gangstörungen bilden dabei ein systematisches Netzwerk (Abb. 9) zwischen den Hauptstörungen. Die Gänge III, VI und VIII (Abb. 18 und 19) sind diagonale Schergänge, in Teilbereichen auch Fiedergänge des Hauptstörungssystems Barbaragang–Roggenbachgang. Die Entfernung der am weitesten westlich gelegenen Haupt-(gang)störung, dem Gang II, zur Schwarzwaldrandstörung beträgt 6,5 km.

Es war zuvor ausgeführt worden (Kap. 3.2), dass die Gänge des Schauinslands dort entstanden, wo die Foliation der Gneiskuppel im Streichen nahezu senkrecht zu den grabenparallelen Störungen verläuft. Auch die untertägigen Aufnahmen zeigen, dass die Erz- und Mineralgänge senkrecht oder in einem sehr stumpfen Winkel zur Foliation liegen, während bei einem spitzwinkligen bis subparallelen Verlauf keine effektive Gangöffnung erfolgte und daher auch keine bauwürdigen Erzmittel entstehen konnten (Abb. 14, 15, 20, 22). Gleiche geometrische Verhältnisse zwischen Foliation und mineralisierter Gangstörung ließen sich in den Revieren Freiamt-Sexau und im Gebiet Münstertal-Belchen nachweisen (WERNER & FRANZKE 1994, 2001; FRANZKE & WERNER 1994).

Bei der im Zeitraum 1953–1956 erfolgten Bestandsaufnahme der Gangaufschlüsse im Rahmen der Bearbeitung der Blei-Zink-Monographie konnte eine vertikale Erstreckung der Gänge von ca. 900 m festgestellt werden (METZ et al. 1957) (Abb. 5 und 9). Die größte bauwürdige Vertikalausdehnung mit über 800 m besitzt der Roggenbachgang (Abb. 5 und 10), der Mächtigkeiten von 0,4 bis 2 m (Abb. 11), maximal von fast 4 m aufweist. Die Gänge zeichnen sich durch eine im Verhältnis zur großen vertikalen Ausdehnung kurze laterale Erstreckung der einzelnen Ganglinsen, rasches Auskeilen der Erzführung und häufiges laterales Auffiedern aus. KREUTZWALD (1935: 315) stellt zur Erzführung fest: „Die allen Schwarzwaldgängen eigentümliche kurze streichende Baulänge, der häufige Wechsel edler Geschicke mit tauben Zonen, ist auch ein Hauptcharakteristikum der Schauinslandgänge“

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

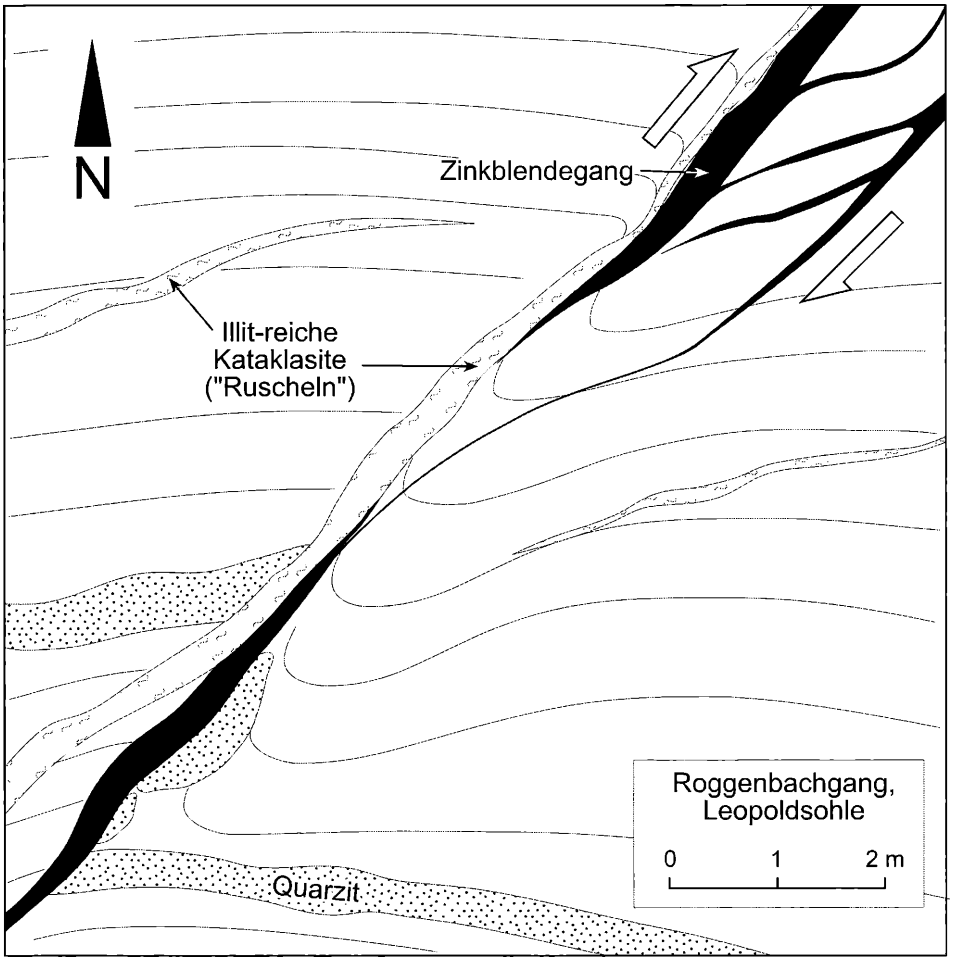


Abb. 18: Detail vom SW-Ende des Roggenbachgangs im Niveau des Leopoldstollens. Quarzitboudins und eine bruchlose Schleppung der Gneisfoliation (durchgezogene Linien) zeigen an, dass die Störung schon unter metamorphen Bedingungen angelegt worden war. Sie wurde später zunächst bei der Bildung Illit-reicher Kataklasite (Mesozoikum) reaktiviert. Zur Zeit der Vererzung hatte sich die alte Störung durch dextrale Scherung geöffnet. Ein Gangdetail ist in Abb. 15 dargestellt.

Die aus markscheiderischen Aufnahmen von ZEISIG (Pläne von 1940) erstellte NE–SW orientierte seigerrissliche Darstellung des **Roggenbachgangs** (Abb. 10) zeigt, dass die früher bauwürdigen Abschnitte des Ganges in der Horizontalen nur einige Zehnermeter bis max. 250 m aushalten, während sich der Gang in der Vertikalen mindestens über 600 m erstreckt. Teilweise zeigt der Roggenbachgang auch finger- bis spindelartige Geometrien bei seigerem bis steilem Einfallen. Solche steilstehenden linsenartigen Erzgänge treten häufig in Gangspalten auf, die durch dominant horizontale Schertektonik (Blattverschiebungen) entstanden sind. Die Abb. 9 macht deutlich, dass der Roggenbachgang im Bereich der

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

2. und 3. Feldstrecke über dem Leopoldstollen durch die Schumacher'sche Ruschel durchsetzt, während besonders im tieferen Niveau die Ruschel und ihre Nachbarschaft vom Gang „gemieden" wird. Die durch die Ruscheltektonik erzeugte Verlettung der Gneise behinderte die Öffnung von Gangspalten; besonders effektiv erfolgt die Gangöffnung hingegen in verkieselten, sehr spröde reagierenden Gesteinen. Der Roggenbachgang fällt bis zur 4. Sohle unter Leopoldstollen im Mittel mit 78° nach NW, erst darunter steht er saiger. Der Gang streicht und fällt also etwa parallel zur Schwarzwaldrandverwerfung. Abb. 9 macht deutlich, dass der Roggenbachgang im zentralen Teil einer 400–500 m breiten Störungszone liegt, die aufgrund der Gangverteilung eine Abschiebungstektonik mit Heraushebung der Ostsscholle relativ zur Westscholle erkennen läßt, während die Kartierbefunde in der Aufsicht (z. B. Abb. 19) eine Scherzone mit dextraler Blattverschiebungstektonik belegen. In der Summe handelt es sich also um eine dextrale Schrägabschiebung.

Auf der **Leopoldsohle** wurde im südlichen Auskeilen des Roggenbachganges eine lagerstättengenetisch besonders aufschlussreiche Situation angetroffen (Abb. 18). Der Gang folgt hier im Streichen und Einfallen einer synmetamorph angelegten, NNE–SSW streichenden, duktilen Störungsstruktur, entlang der es prämineralisch zu einer intensiven bruchlosen Schleppung der Gneisfoliation durch dextrale Scherung kam. Auch Quarzitlagen, die in die Paragneise konkordant eingelagert sind, wurden in boudinierter Form in die Störung eingeschleppt. Diese alte Störung wurde zunächst (vermutlich während des jüngeren Mesozoikums, vgl. Kap. 6.2 und 7) nachbewegt, wobei es zur niedrigthermalen Zersetzung der Gneise und zur Illit-Kaolinit-Neubildung kam. Der Quarz-Zinkblende-Gang entstand später, wie zahlreiche Fiedergängchen zeigen, durch eine die alte Störung reaktivierende Öffnung entlang der älteren synmetamorphen Vorzeichnung. Die Detailaufnahme eines schmalen Gangtrums aus diesem Aufschluss zeigt (Abb. 15), dass die Gneise in Gangnähe eine mehrfache hydrothermale Verkieselung erfahren haben. Später wieder verfaltete Scherbänder von mikrokataklastischem Hornsteinquarz begleiten den Gang (Abb. 15, rechts). Bei der erneuten scherenden Gangöffnung während der ZnS I-Phase wurden brekziierter verkieselter Gneis und Hornsteinquarz in den Zinkblendegang eingemengt. Kornlängung in der massiven Zinkblendevererzung (angedeutet in Abb. 15 durch Strichlierung) läßt vermuten, dass auch diese Mineralisation syntektonisch bei andauernder dextraler Scherung erfolgte.

Für den Bereich der **Kapplersohle** liegen markscheiderische Gangkartierungen aus der letzten Betriebsperiode vor. Unsere tektonischen Aufnahmen auf dieser Sohle konnten im Prinzip die gleichen Verhältnisse nachweisen wie auf den höheren und tieferen Sohlen. Abb. 19 zeigt eine synoptische Darstellung der Erzgänge und der nur schwach mineralisierten Gangstörungen auf dieser Abbausohle. Es wird deutlich, dass hier der Roggenbachgang die westliche und der Gang VIII die östliche Begrenzung einer NNE–SSW streichenden, rund 150 m breiten Scherzone darstellen. Diese liegt annähernd senkrecht zum Verlauf der WNW–ESE gerichteten Schumacher'schen Ruschel, die ihrerseits annähernd parallel zur Gneisfoliation verläuft. Die Diagonalgänge stellen die bei der dextralen Scherung entstandenen, steil bis saiger einfallenden Gänge in Fiederposition dar, die den in allen Lagerstättenteilen festgestellten dextralen Verschiebungssinn bestätigen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

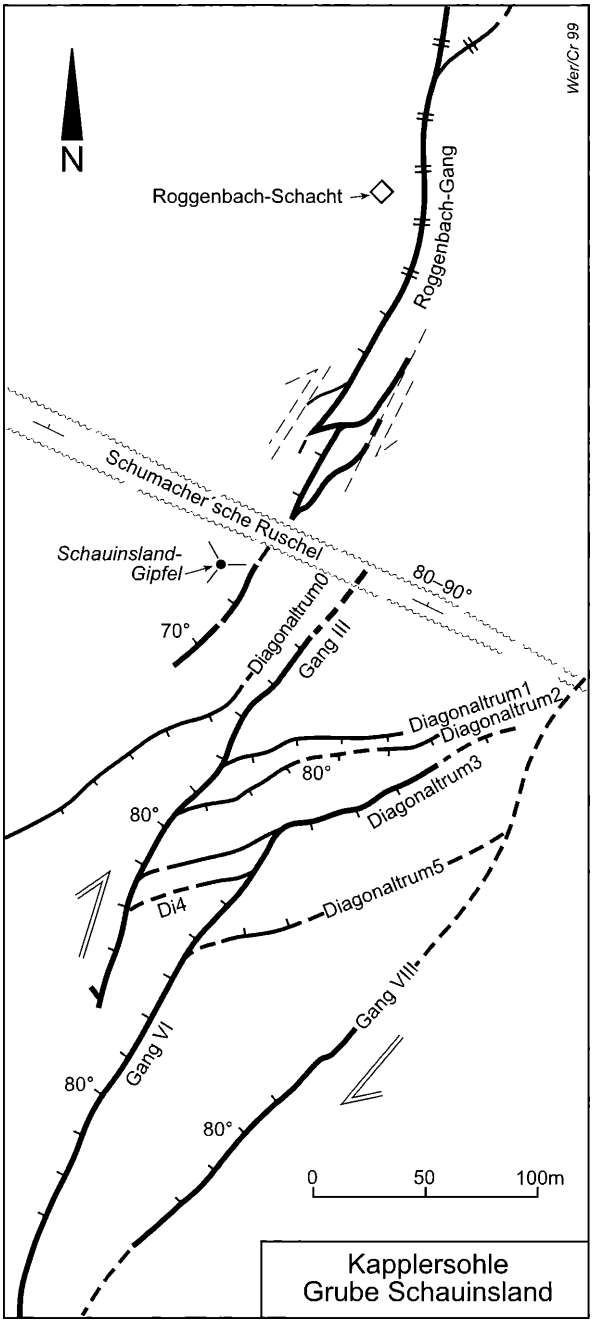


Abb. 19: Erzgänge im Niveau der Kapplersohle, etwas schematisiert. Es wird deutlich, dass die NNE–SSW streichenden und steil NW fallenden Hauptgänge Roggenbachgang, III, VI und VIII durch Diagonalgänge verbunden sind. Die Anordnung der Hydrothermalgänge belegt ihre Entstehung in einem dextralen Blattverschiebungssystem.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Eine detaillierte tektonische Aufnahme wurde in der **Gipfelregion** im Bereich des Besucherbergwerks zwischen dem Gegentrum II-Stollen und der 4. Feldstrecke über Kapplersohle (+1190 bis +1135 m NN) durchgeführt (zusammengefaßt in: WITTENBRINK 1999). In diesem Bereich sind der Gang III, der Gang VI und kleine Diagonaltrümer sowie die Schumacher'sche Ruschel gut aufgeschlossen (Abb. 20–24). Besonders im Gang III ist umfangreicher Abbau betrieben worden, wie die größten bekannten Abbauhohlräume im historischen Schwarzwälder Erzbergbau auf der 4. FüK (3–8 m breit, 90 m lang, ca. 80 m tief) und auf der Kapplersohle belegen (Tafel 6). Am Nordende der Auffahrung auf der 4. FüK dünnt der Gang III mit Annäherung an die Schumacher'sche Ruschel allmählich aus. Die Gangstörung durchsetzt diese senkrecht zum Gang streichende ältere Ruschel (120°/80–85° NE) geradlinig; an der Gangstörung wird die Ruschel um 16 m im Sinne einer Rechtsseitenverschiebung versetzt (Abb. 23 und 24). NNE der Ruschel öffnet sich der Gang III erneut.

Bei den bergmännischen Arbeiten zur Schaffung eines Anschlusses der 4. Feldstrecke über Kapplersohle an den am Fallerhäusle zu Tage kommenden Gegentrum IV-Stollen, die im Rahmen der Herrichtung des Besucherbergwerks in den Jahren 1998–2001 vorgenommen wurden, wurde der Gang VI weiter nach SW erschlossen (Abb. 20 und 21). Dieser derzeit beste Aufschluß eines Erzgangs am Schauinsland (Tafel 13) zeigt exemplarisch die tektonischen Hauptelemente der Erzgänge:

Hydrothermale Alteration des Nebengesteins der SSW–NNE streichenden Gangstörung mit Chloritisierung, Hellglimmerwachstum, Kaolinitisierung der Feldspäte und starker Silifizierung am Salband.

Auffiedern an beiden Enden der rund 45 m langen Ganglinse und Umbiegen der Gangstörung in ENE-Richtung; dabei erfolgt ein Aufsplittern in zahlreiche, cm bis dm-mächtige Gängchen in einer älteren grobstückigen, alterierten Gneisbrekzie.

Synhydrothermale dextrale Scherung mit 30° nach NE eintauchenden Bewegungsspuren an den Scherflächen beider Salbänder.

Dreiphasige hydrothermale Mineralisation beginnend mit Quarz, Zinkblende und Bleiglanz (Hauptzinkblendemineralisation), gefolgt von Quarz- und Schwerspat; dabei starke Brekziierung des Zinkblendeganges und intensive Lösung der Sulfide; diese zweite hydrothermale Mineralisation hinterlässt einen gebänderten Quarz-Schwerspatgang mit sigmoidal geformten, nach E ablaufenden Fiedern (entsprechend der erneuten dextralen Scherung und Gangöffnung) und bis zu 1 m großen Bruchstücken des Zinkblendeganges in der Gangmitte (Abb. 20 und 21, Tafel 13).

Das rasche Auskeilen des bis max. 2,7 m mächtigen Ganges im SW fällt mit einer prämineralischen sinistralen, NW–SE-streichenden und mit 25° flach nach NE-fallenden Scherzone (25/25°) im Gneis zusammen, die zur Gruppe der foliationsparallelen (vermutlich variszisch angelegten) duktil-kataklastischen Scherzonen gehört.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

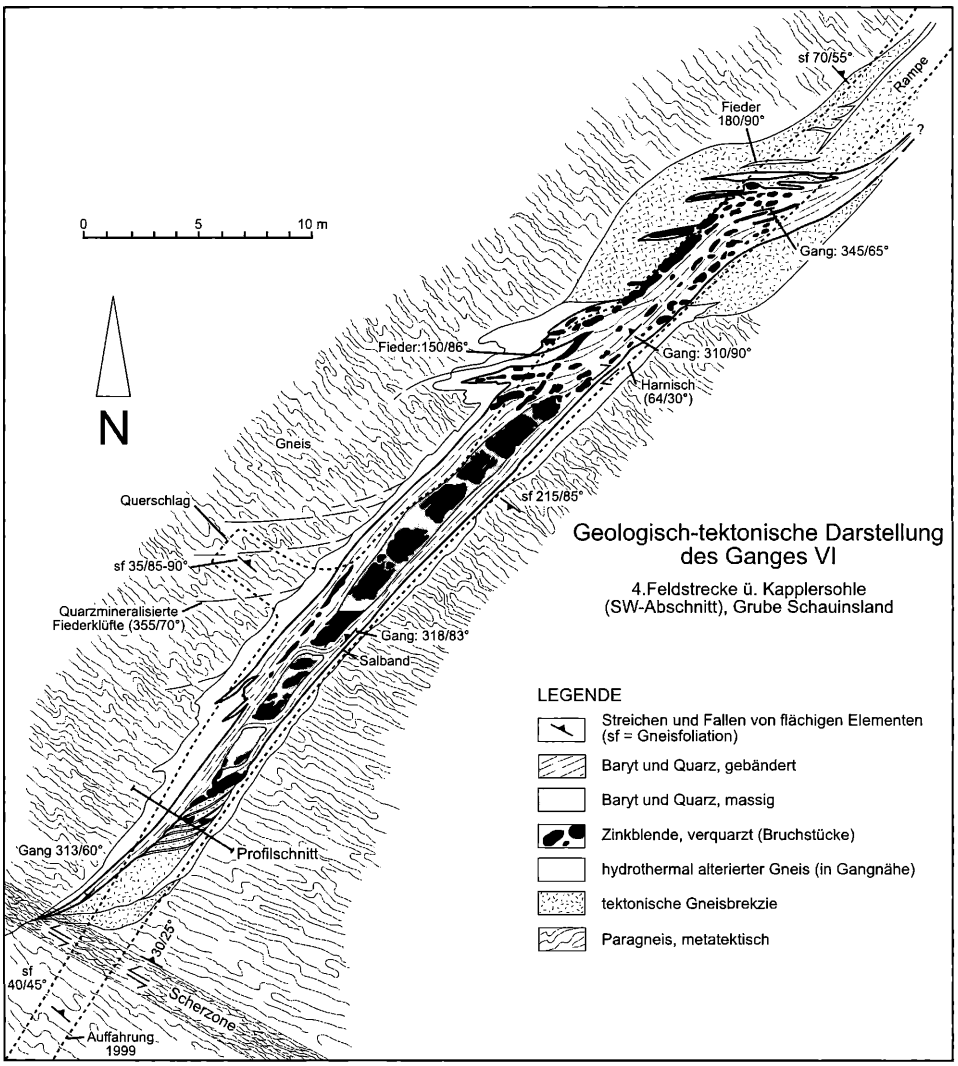


Abb. 20: Strukturgeologische Darstellung von Gang VI (SW-Teil, Niveau 4. FüK). Große Bruchstücke der älteren Zinkblendevererzung sind in derbem oder gebändertem Schwerspat eingebettet. Im Auskeilen der hier nur 40 m lange Ganglinse sind tektonische Gneisbrekzien häufig, der Gang endet an einer älteren Scherzone (Detail in Abb. 7 B).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

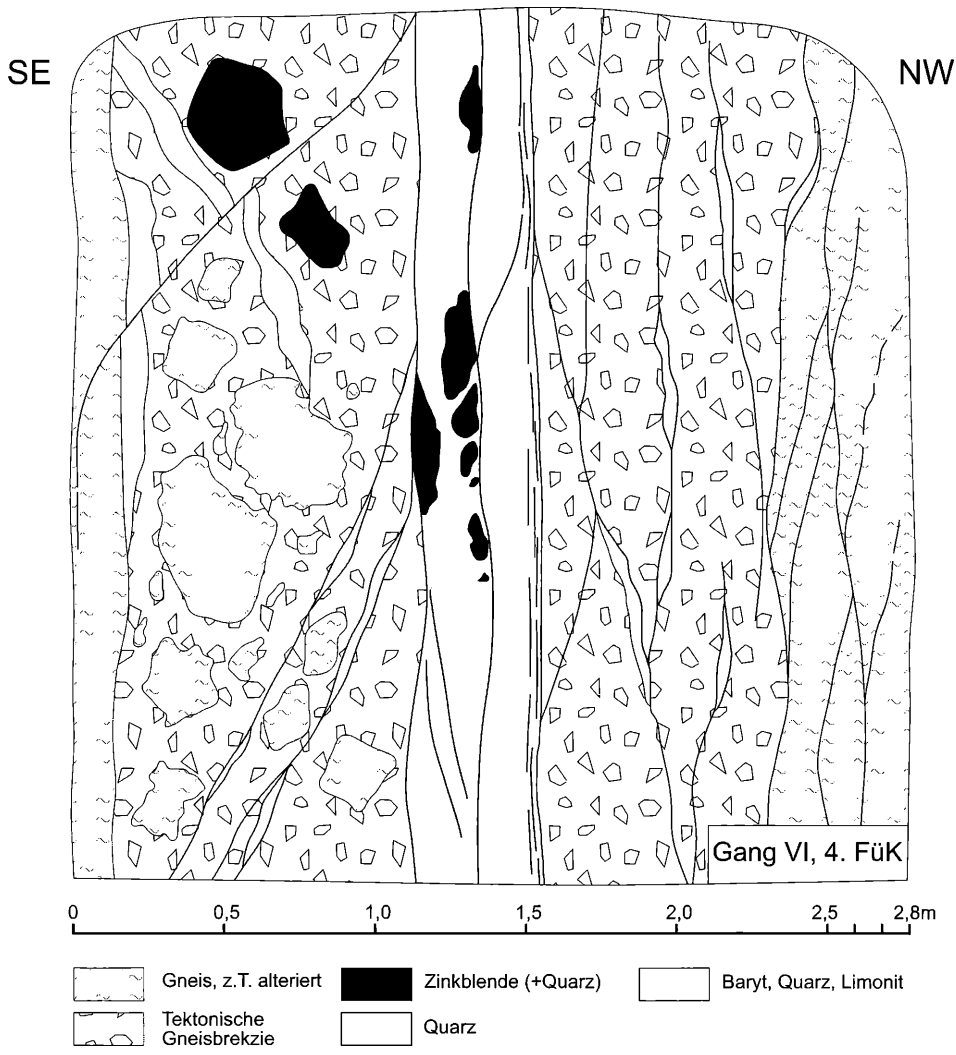


Abb. 21: Schnitt durch die in Abb. 20 dargestellten Ganglinse von Gang VI nahe seines SW-Endes (Schnittspur in Abb. 20). In einer Gneisbrekzie liegen große Schollen von Gneis und des Zinkblendeganges vor. Begleitet von schmalen Baryt- und Quarzgängchen durchschlägt ein 40 cm mächtiger Barytgang die Störungsbrekzie von Gang VI.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Im Herbst 2001 gelang die Öffnung des Gegentrum IV-Stollens, der unmittelbar hinter dem Fallerhäusle angesetzt ist, von dort aus in nordwestliche Richtung (im Mittel 320°) verläuft und nach 130 m den Gang VI erreicht. Die Gangzone ist hier (3,5 m unter dem Niveau der 4. Feldstrecke über Kapplersohle) rund 2,5 m mächtig und besteht aus stark hydrothermal alterierten Gneisbrekzien mit Quarz, Baryt und Zinkblende. Auch hier verläuft die Gneisfoliation (30/40°) senkrecht zum Gang (120/85–90°). Der Stollen ist annähernd senkrecht zum Generalstreichen der Erzgänge aufgefahren; die Aufschlüsse im Stollen zeigen, dass der Gang VI im Südosten von einer 75 m breiten Zone begleitet wird, die mehrere Gängchen (145–170/80–85°, Mächtigkeit 2–15 cm) mit Schwerspat, Quarz und Zinkblende, z. T. auch Dolomit, enthält.

Die durch strukturgeologische Detailaufnahmen auf der 4. und 5. Feldstrecke über Kapplersohle gewonnenen Ergebnisse sind in den Abb. 22–24 zusammengestellt. Abb. 22 zeigt, dass vor der Bildung der Hydrothermalgänge als strukturelle Hauptelemente die (in diesem Niveau) NW–SE streichende, mit 60–80° nach NE fallende Schumacher´sche Ruschel und eine in etwa parallel verlaufende Gneisfoliation vorlagen. Aufwölbungen und Einmuldungen im Gneis (große B1-Falten) verlaufen ebenfalls NW–SE. Daneben existieren aber auch NE–SW gerichtete Störungen, entlang derer es zur Schleppung der Gneisfoliation bei dextraler Blattverschiebung gekommen ist. Eine Störung, die im Norden mit der Schumacher´schen Ruschel zusammenläuft und wie diese lettige Mikrokataklasite führt, durchzieht den kartierten Bereich in N–S-Richtung. Abb. 23 verdeutlicht, dass die in Abb. 22 gestrichelt gezeichneten Störungen in Folge einer etwa SW–NE gerichteten Kompression (σ_{Hmax}) erneut als dextrale Blattverschiebungen aktiviert wurden. Dabei öffneten sich die Gangspalten der Gänge III (hier doppeltrümig) und VI zusammen mit einigen Fiedergängchen. Die Schumacher´sche Ruschel wurde in die Gangstörung eingeschleppt und dextral versetzt. Abb. 24 zeigt, dass Gang III vor der Ruschel auskeilt (da sich die tonmineralreichen Ruschelgesteine im Gegensatz zu den verkieselten Gneisen nicht öffnen konnten), um danach wieder einzusetzen.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, dass die Erz- und Mineralgänge des Schauinslands Teil eines großen variszisch angelegten Blattverschiebungssystems sind, das synhydrothermal in mindestens drei Stadien einer dextralen strike slip-Tektonik mit Abschiebungstendenz unterlag. Anhand der den meist verquarzten Gangsalbändern aufgeprägten Gleitspuren (große Harnische) und anhand der Geometrie des Gangnetzes läßt sich erkennen, dass die dem Oberrheingraben zugewandte westliche Scholle relativ zur Ostscholle in Form einer Schrägabschiebung abgesenkt wurde. Die Entstehung der Gangspalten steht im Zusammenhang mit der Heraushebung des Schauinsland–Feldberg-Horsts.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

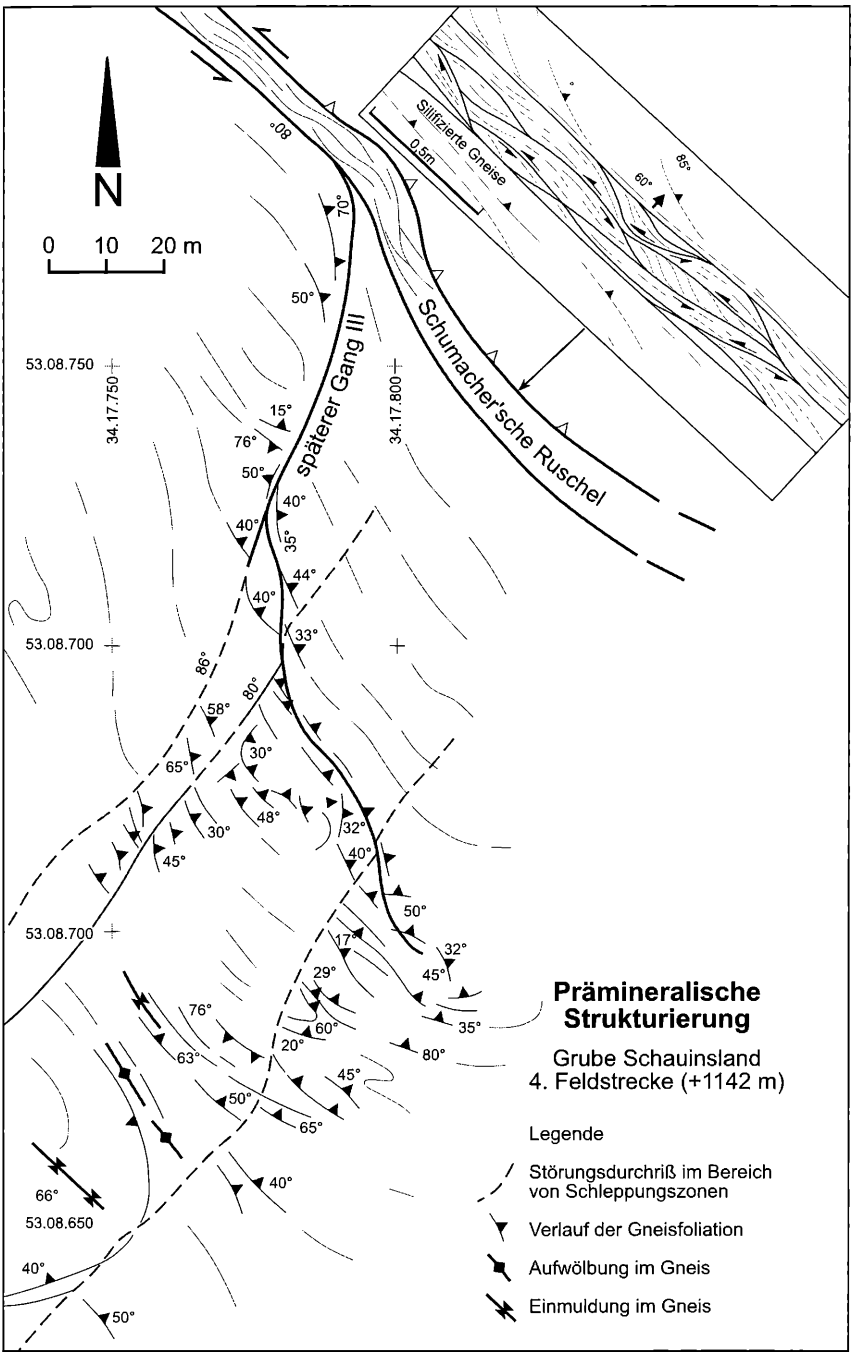


Abb. 22: Rekonstruktion des Strukturbaus im Niveau der 4. FüK vor Öffnung der Hydrothermalgänge. Das Detail der Schumacher´sche Ruschel (Aufnahme auf der Leopoldsohle) zeigt den Internbau mit dominant sinistraler Scherung im Kataklasit.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

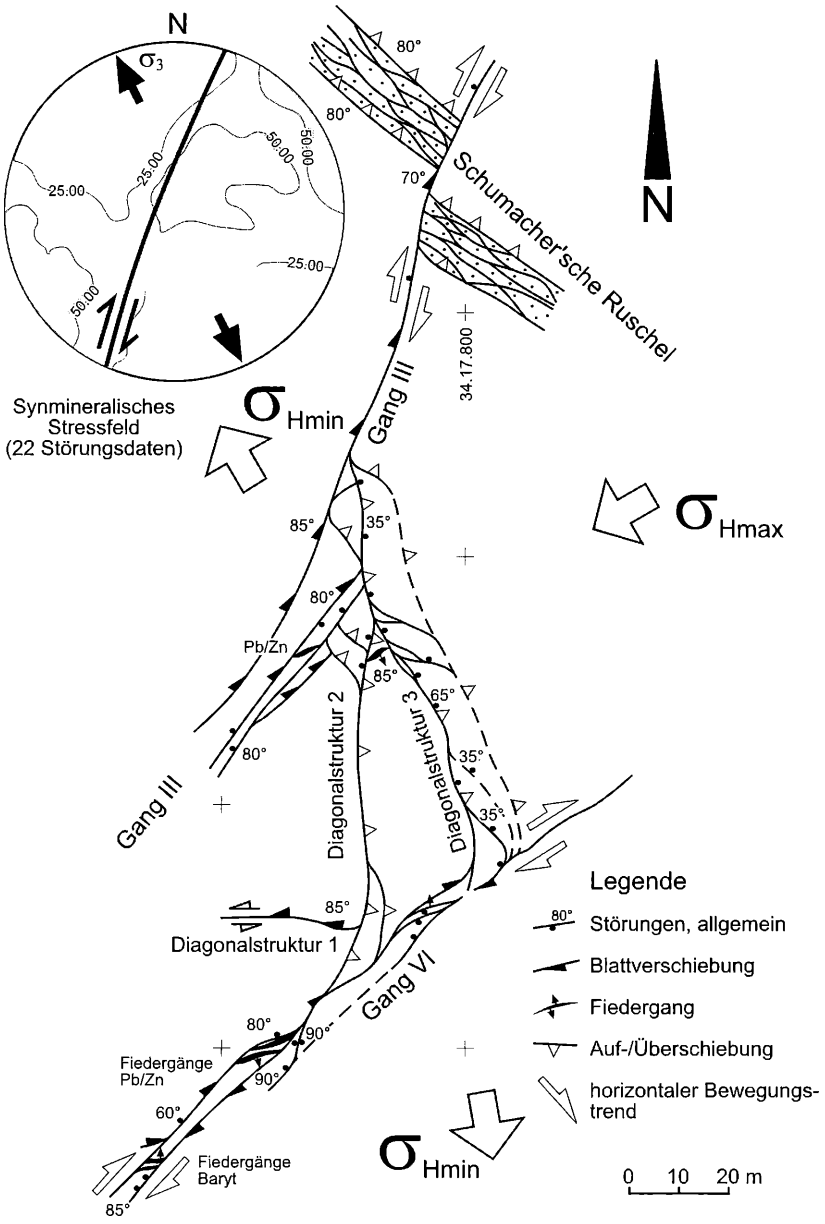


Abb. 23: Strukturgeologische Situation in der Gipfelregion des Schauinslands nach Aufnahmen im Bereich des Besucherbergwerks. Der Gang III besteht im SW-Teil aus mehreren Gangtrümern. Seine nördliche Fortsetzung durchschlägt die Schumacher´sche Ruschel, die er um ca. 15 m dextral versetzt. Das Horizontalkomponenten des synmineralischen Stressfelds bestehen aus einer SW–NE gerichteten kompressiven und einer NNW–SSE orientierten extensionalen Achse. Die präexistenten NNE verlaufenden Störungen (s. Abb. 22) öffneten sich hierbei durch dextrale Schrägabschiebungsbewegungen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

6.2 Ruschelstörungen

Neben den abschnittsweise vererzten Gangstörungen existieren zahlreiche, zumeist senkrecht zu den Gängen verlaufende tonmineralreiche (lettige) Störungszonen mit Störungskataklasiten, die sog. Ruscheln (Tafel 9). Ruscheln sind im Grundgebirge in großer Zahl vorhanden, aufgrund ihrer lettigen, zu intensiver Verwitterung und Abtragung neigenden Gesteinsbeschaffenheit sind sie aber vorwiegend in untertägigen Aufschlüssen nachgewiesen worden. Einzelne Ruscheln konnten jedoch auch über Tage kartiert werden (HÜTTNER & WIMMENAUER 1967; WITTENBRINK 1999), wobei sie sich oft durch Geländeeinmuldungen erkennbar machen. Die Ruschelgesteine bestehen aus einem feinkörnigen Gesteinszerreibsel aus zermahlenem alterierten Gneis (Quarz- und Feldspatgemenge), das in einer tonigen-lettigen Grundmasse von Illit und Chlorit sowie untergeordnet Kaolinit und Montmorillonit eingebettet ist. Im Dünnschliff wird deutlich, dass Kataklasten von Quarz sowohl Parkettierung als auch Undulösität aufweisen, jedoch kaum Anzeichen einer duktilen Verformung, so dass diese Störungsgesteine als Kataklasite bzw. Mikrokataklasite zu bezeichnen sind. Details von Ruschelstörungen sind in Abb. 7 dargestellt.

Im Streichen verlaufen die Ruschelstörungen meist parallel oder spitzwinklig zur Gneisfoliation. Faltenstrukturen werden von den Ruscheln meist spitzwinklig durchschlagen. Auch WIMMENAUER konnte bei der Kartierung feststellen, dass die Ruschelstörungen die Tendenz zeigen, „in die Schieferung einzulenken" (HÜTTNER & WIMMENAUER 1967: 110). Somit besitzen die kataklastischen Störungen in ihrem Verlauf noch eine räumliche Bindung an den Strukturbau der Gneise. Sie entwickelten sich als bereits relativ „kalte" schrägabschiebende Störungen aus der Gneisfoliation. Da sie außerdem partiell hydrothermal alteriert sind und Weitungsstrukturen darstellen, sind sie frühestens mit dem Übergang der variszischen Tektonik aus der konvergenten, d. h. kompressiv-einengenden Entwicklung zur spätvariszischen Extensionstektonik entstanden (vgl. ECHTLER & CHAUVET 1992). Am besten bekannt ist die Schumacher´sche Ruschel (benannt nach dem ersten Bearbeiter, der ihre Bedeutung für die Lagerstätte betonte, dem Bergingenieur FRIEDRICH SCHUMACHER, vgl. SCHUMACHER 1911). Diese 10–20 m mächtige Ruschel streicht meist 100–110° (z. T. auch –140°) und fällt meist 60°–85° N bis NE. In den tiefsten Grubenaufschlüssen scheint sie flacher einzufallen (Abb. 9; spitzwinkliger Profilschnitt!).

Die Ruscheln werden von den Hydrothermalgängen durchschlagen und dabei zumeist im Sinne dextraler Scherung geschleppt und versetzt (Abb. 23–24). Sie sind somit von Bedeutung für die Bestimmung der unteren Altersschranke der hydrothermalen Mineralisation (Kap. 7). Auch von allen früheren Bearbeitern wurde übereinstimmend festgestellt, dass die Ruscheln deshalb älter als die Erzgänge sein müssen (SCHUMACHER 1911: 20 ff; SCHNEIDERHÖHN 1929: 4; KREUTZWALD 1935: 316 ff; HOENES 1937: 337; METZ et al. 1957: 24, 27; HÜTTNER & WIMMENAUER 1967: 111; HÜTTNER in: GROSCHOPF et al. 1981: 214).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

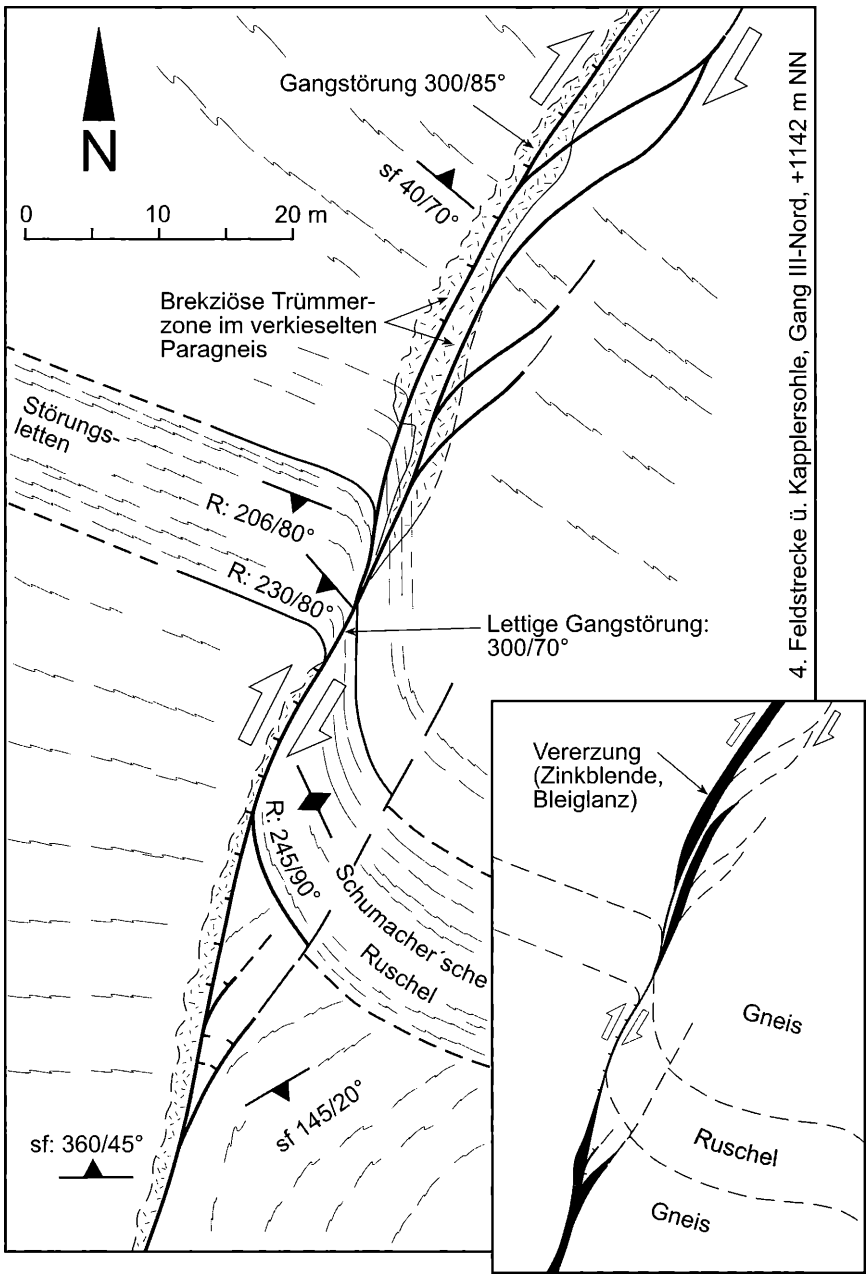


Abb. 24: Im Nordteil der 4. Feldstrecke über Kapplersohle durchschlägt die Gangstörung von Gang III die hier ca. 10 m mächtige Schumacher´sche Ruschel. Bei der Gangöffnung durch dextrale Scherbewegung (Stressfeld s. Abb. 23) wurde die Ruschel um 15–16 m versetzt. Im nahe der Gangstörung verkieselten Gneis kam es zu Bildung von Brekzienzonen. Hier konnte sich die Gangstörung öffnen und somit auch Vererzung erfolgen, wohingegen innerhalb der illitreichen Ruschel keine Gangöffnung möglich war.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

7. Geochronologische Untersuchung an Illiten der Ruschelstörungen

Zur Einengung der Entstehungsalter der Ruscheln des Schauinslandmassivs wurden von uns an sieben Lokalitäten auf fünf Sohlen (Leopoldsohle, Kapplersohle, 4. FüK, 5. FüK und Gegentrum II-Stollen) insgesamt 9 Proben der lettigen Störungsgesteine entnommen (vgl. Tafel 9). Nach Aufbereitung und mineralogischer Analytik stellte sich heraus, dass sich sieben Proben aufgrund ihres hohen Anteils des Kaliumträgers Illit zur Altersdatierung eignen (Tab. 10). Analytik und Datenauswertung wurden am Labor für Geochronologie der Universität Heidelberg unter Leitung von H. J. LIPPOLT durchgeführt.

Nach den 1997 im Auftrage des LGRB erfolgten mineralogischen Voruntersuchungen zur Vorbereitung der radiometrischen Altersdatierung durch H.-J. LEYK (Labor für Geochronologie Univ. Heidelberg) enthalten die Ruschelgesteinsproben aus der Grube Schauinsland in der Fraktion < 2 µm vor allem Illit, Chlorit und Kaolinit, daneben etwas Quarz und in zwei Proben etwas Pyrophyllit. GARCIA-GONZALES & WIMMENAUER (1975) konnten in den grauen Letten der Ruschelzonen auch Pyrit feststellen, weshalb sie von reduzierenden Bildungsbedingungen ausgehen. In den hier untersuchten Proben wurde kein Pyrit, bei der Aufbereitung der Proben zur Trennung des Tonmineralbestandes jedoch teilweise etwas Sulfat festgestellt, was auf Oxidation von Eisensulfiden hindeutet. Die sieben Proben mit ausreichender Menge an Illit bzw. Illit-Smektit wurden soweit aufbereitet, dass kein Feldspat und nur noch geringe Spuren von Quarz und in einzelnen Proben noch etwas Kaolinit und Chlorit vorhanden waren. Der Kaliumgehalt der untersuchten Proben liegt im Mittel bei 5,5 % (min. 3,85 %, max. 6,25 %), die Rb-Gehalte schwanken zwischen 400 und 760 ppm (Mittelwert 572 ppm), die von Strontium von 14 bis 406 ppm (Mittelwert 140 ppm) (LIPPOLT 1999).

Die Tab. 10 fasst die geochronologischen Ergebnisse zusammen. Die meisten Altersdaten für Illitpräparate aus Ruschelgesteinen fallen in den Zeitraum Unterjura bis Unterkreide (198–110 Ma). Diese Werte wurden an Proben ermittelt, die fernab von Quarz-Zinkblende-Baryt-Gängen entnommen worden waren. Eine spätere hydrothermale Überprägung im Zusammenhang mit der Zink-Blei-Mineralisation ist hier also wenig wahrscheinlich. Unter der Annahme, dass jede untersuchte Illitprobe für einen einzeitlichen Zersetzungsprozess (der Ausganggesteine mit Illitneubildung) steht, können die ermittelten K/Ar- und Rb/Sr-Isotopenverhältnisse so interpretiert werden, dass die Illitbildung in den Ruscheln während des frühen Juras (ca. 200–170 Ma, also Unter- bis Mitteljura) einsetzte, sich über die Wende Jura/Kreide fortsetzte und bis in die späte Oberkreide andauerte (97–70 Ma) (LIPPOLT 1999). Die Rb/Sr-Datierung an Illiten der Lettenruscheln auf der Grube Caroline, Revier Freiamt-Sexau, durch HAGEDORN & LIPPOLT (1994) lieferte Alter für die Illitbildung von 115 ± 2 Ma.

Es ist damit zu rechnen, dass durch das große Hydrothermalsystem der Schauinslander Erz- und Mineralgänge zumindest in unmittelbarer Gangnähe eine Veränderung im Chemismus der bereits vorhandenen Illite der Ruschelstörungen erfolgte (Argonverlust, Illitneubildung, s. Diskussion bei HAGEDORN & LIPPOLT 1994). Darauf deutet der Befund, wonach die jüngsten Altersdaten (K/Ar: 97–82 Ma; Rb/Sr: 70–80 Ma) an jenen Illiten ermittelt wurden, die aus den schmalen Lettenruscheln auf der 4. und 5. Feldstrecke über Kapplersohle aus mineralgangnahen Bereichen stammen (Proben W1 und 5. FüK, s. Tab. 10).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tab. 10 Zur Altersdatierung beprobte Ruschelstörungen aus der Grube Schauinsland zwischen der Leopoldsohle (+ 840 m NN) und der 4. Feldstrecke über Kapplersohle (+ 1143 m NN) sowie apparente Altersergebnisse an den daraus gewonnenen Illitpräparaten (nach LIPPOLT 1999). FüK = Feldstrecke über Kapplersohle

Probenbezeichnung: Probenahmestelle und Kurzbeschreibung der Ruschelstörung	**K/Ar-Alter (Ma)**	**Rb/Sr-Alter (Ma)**	**Geologischer Zeitraum**
4FüK: Schumacher'sche Ruschel, NW-SE streichend (230/80°), 10 m mächtig, dextral versetzt durch unmineralisierte Gangstörung von Gang III; 4. FüK, Nordende (s. Abb. 24)	198–188	ca. 170	Unter- bis Mitteljura
W1: lettenführende, NNE streichende Gangparallele Störung (105/38°) mit auskeilendem Diagonaltrum 4, 4. FüK	97–92	ca. 80	Oberkreide
5FüK: Lettenruschel parallel zu Gang III (280/85°), 5. FüK, ca. +1175 m NN	94–82	ca. 70	Oberkreide
Kap1: Schumacher'sche Ruschel, 15 m mächtig, NW–SE-streichend; Kapplersohle, ca. +995 m NN	149–130	ca. 120	Obertithon bis Unterkreide
L1.1: Große Ruschel (320/40–50°), parallel zu Roggenbachgang (vermutlich in die Gangstörung geschleppte Schumacher'sche Ruschel); Leopoldsohle, 80 m SW Roggenbachschacht	198–192	ca. 190	Unterjura (Pliensbachium)
L1.2: dieselbe Entnahmestelle wie von L1.1	167–143	ca. 120	Mitteljura bis Unterkreide
L2: NNW–SSE streichende Ruschel (70/60–70°), 13 m nördlich L1.1 und L1.2, durchschlägt große Ruschel von Probe L1.1	142–129	ca. 110	Oberjura bis Unterkreide

Hier verlaufen diese Ruscheln teilweise parallel zu den NNE–SSW-streichenden Erzgängen (Abb. 18). Vielleicht deuten diese jüngsten Illitalter aber auch auf eine erste Phase der Gangtektonik und Hydrothermalaktivität während der Oberkreide hin. BARANYI et al. (1976) gehen davon aus, dass die zur Oberrheingrabentektonik gehörige vulkanische Aktivität, für die man auch eine Koppelung mit gleichzeitigen tektonischen und hydrothermalen Ereignissen annehmen darf, bereits in der Oberkreide begonnen hatte (Olivin-Nephelinite im Schwarzwaldkristallin, ca. 117–60 Ma).

Hingewiesen werden soll noch auf eine isolierte Rb/Sr-Datierung an einer Zinkblendprobe aus Gang VI auf der 4. Feldstrecke über Kapplersohle, die von WEBER (1997) im Rahmen seiner Diplomarbeit durchgeführt wurde. Anhand der ermittelten $^{87}Sr/^{86}Sr$- und $^{87}Rb/^{86}Sr$-Verhältnisse berechnete er ein Bildungsalter der Zinkblende von 110 ± 2 Ma. Rb/Sr-Alter von 110–120 Ma konnte LIPPOLT (1999) für Illite aus den großen Lettenruscheln auf der Leopoldsohle ermitteln, die im Bereich der Gangstörung des Roggenbachgangs beprobt worden waren. Die jüngsten Illitalter reichen bis 70 Ma (Tab. 10). Danach wären Zinkblendevererzung und Illitbildung in den Ruscheln teilweise gleichalt, die Illitbildung in den

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

gangnahen Ruscheln wäre sogar jünger als die Zinkblendemineralisation (gemäß der Datierung von WEBER 1997). Jedoch zeigt die tektonische Aufnahme, dass die Erzgänge eindeutig jünger sind, als die Ruscheln und dass beide unter verschiedenen tektonischen Beanspruchungsplänen entstanden sind (Kap. 6.1 und 6.2). Eine scherende Tektonik auf den Gangstörungen, die um 90–70 Ma erneut Mikrokataklasite (Ruscheln) hätte entstehen lassen, hätte bereits existierende Hydrothermalgänge tektonisch stark überformen müssen. Im Zusammenhang mit hydrothermalen Alterationen sind kretazische Alterswerte sowohl im Schwarzwald als auch an anderen Orten Mitteleuropas häufig festgestellt worden, was auf eine großräumige tektonische Aktivität im Zusammenhang mit der Öffnung des Atlantiks und der alpinen Orogenese gesehen wird (vgl. HAGEDORN & LIPPOLT 1994). Der Einzelbefund von WEBER (1997) ließe sich zwar mit den älteren, bis ca. 110 Ma reichenden Illitaltern in Einklang bringen, nicht jedoch mit den Ergebnissen der Kohlenwasserstoffanalytik an den Zinkblenden des selben Gangaufschlusses, welche auf postoligozäne Alter hinweisen (Kap. 5.4). Denkbar wäre zwar, dass WEBER gerade ein Relikt einer älteren Vererzungsphase zur Analyse heranzog, jedoch zeichnet sich der Gangaufschluss am SW-Ende von Gang VI (Abb. 20 und 21, Tafel 13) durch sehr intensive hydrothermale Überprägung mit Absatz von Quarz und Schwerspat und weitgehender Verdrängung von Zinkblende aus, so dass hier mit der hydrothermalen Veränderung im Zinkblendechemismus zu rechnen ist.

In Abschnitt 6.2 wurde dargelegt, dass die Erzgänge des Schauinslands im Zuge einer dextral scherenden Weitungstektonik auf einer altangelegten Störungszone entstanden sind, bei welcher die bereits existierenden Ruschelstörungen versetzt wurden. Wie zuvor ausgeführt wurde, fallen die meisten an den Illiten dieser Ruschelstörungen gewonnen Altersdaten in den Zeitraum Unterjura bis Unterkreide (198–110 Ma, Tab. 10). Auch aus dem Salbandbereich des Flußspatganges der **Grube Tannenboden bei Wieden**, der eine gebänderte Zinkblende-Bleiglanz-Vererzung in Flußspat I aufweist, wurde von uns eine Lettenprobe zur Altersdatierung entnommen. Dieser Gang, auf dem Flußspatbergbau bis 1974 umging, streicht Nord–Süd und fällt steil nach West ein (75–90°). Die K/Ar-Datierung an den Illiten der Salbandletten wurde 1998 von AHRENDT & WEMMER (IGDL, Göttingen) durchgeführt. Sie lieferte einen Alterswert von 151 Ma (tiefer Oberjura). Er entspricht dem Zeitpunkt der Nebengesteinsalteration auf der Gangstörung vor der Fluoritmineralisation des Tannenbodengangs.

LIPPOLT & SIEBEL (1991) sowie LIPPOLT & KIRSCH (1994) konnten feststellen, dass im südlichen Zentralschwarzwald während der gesamten Jurazeit eine weitverbreitete Serizitisierung von Plagioklasen erfolgte. Dies war eine Epoche, in der sich das heute sichtbare Kristallin in maximaler Versenkungstiefe und damit im Zustand verstärkter Aufheizung befand. In dieser Zeit entstanden zahlreiche Quarz-Hämatit-Baryt- und Quarz-Fluorit-Hämatitgänge im Schwarzwaldkristallin (Zusammenstellung bei MANKOPF & LIPPOLT 1997). (U + Th)/^{4}He-Datierungen an Hämatitmineralisationen des Rammelsbacher Schloßbergs im Münstertal–Belchengebiet führten BRANDNER & LIPPOLT (1999) durch. Beim untersuchten Material handelt es sich um feinschuppigen Hämatit, der zusammen mit Quarz und wenig Hellglimmern Brekzien einer älteren Quarzmineralisation verkittet. Älter als der Hämatit ist hier auch eine pseudomorph erhaltene Fluorit- und Barytmineralisation. An vergleichbaren Proben dieser W–E- bis WNW–ESE-streichenden Verkieselungszone innerhalb der Badenweiler-Lenzkirch-Zone fand KAUTZSCH (1936) noch „Reste von Schwerspat und Sulfiden", die von Hämatit umgeben sind. BRANDNER & LIPPOLT (1999) datieren die Hämatitbildung

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

in den Zeitraum 180–200 Ma (Unterjura). Zuvor waren – wie die Einschlüsse und Pseudomorphosen zeigten – schon Sulfide, Fluorit und Baryt abgeschieden worden. Zu dieser weitverbreiteten oberjurassisch-unterkretazischen Mineralisations- und Alterationsphase zählen auch die Mn- und Fe-Gänge bei Eisenbach (156 Ma; SEGEV et al. 1991) und von Lenzkirch-Mühlenbach (143–147 Ma; WERNICKE & LIPPOLT 1994). Dies zeigt, dass es im Schwarzwaldkristallin vor und/oder während der Illitbildung auf den Ruschelzonen zu hydrothermaler Vererzung gekommen ist. Eine derartige hämatitbetonte Mineralisation ist jedoch – abgesehen von den oberflächennahen sekundären Bildungen der roten Letten (s. GARCIA-GONZALES & WIMMENAUER 1975) – bisher aus dem weitläufigen Grubengebäude am Schauinsland nicht bekannt geworden. Dies kann möglicherweise auf die starke oberkreide- bis jungtertiärzeitliche Hydrothermalaktivität zurückgeführt werden, die zur Lösung älterer Mineralisationen auf und nahe an den Gangstörungen geführt hat.

8. Zur Entstehung der Erzgänge

Faßt man zunächst die Ergebnisse unserer strukturgeologischen Untersuchungen zusammen, so läßt sich folgendes Modell für die Entstehung der Erzgänge am Schauinsland aufstellen (Abb. 25):

1. Zum Ende der variszischen Einengungstektonik im Oberkarbon lag ein intensiv verfaltetes Gebirge aus Paragneisen und Meta-/Diatexiten vor, das von vor nehmlich E-W streichenden Überschiebungen durchtrennt wurde.
2. Während des spätvariszischen Extensionsphase (Oberkarbon–Perm) intrudierten im Bereich des Schauinsland-Feldberg-Horsts NNE–SSW bis NE–SW streichende Aplitgranite, Gangporphyre und Lamprophyre und es bildeten sich parallel verlaufende Scherzonen (wie die Vorzeichnung des späteren Roggenbachgangs, Abb. 18), die im Schauinsland auf vornehmlich dextrale Scherbewegungen zurückgehen.
3. Im Zeitraum Unterjura bis Oberkreide wurden die spätvariszischen Abschiebungen reaktiviert und unter sinistraler Scherung zu Kataklasiten (Ruscheln) umgeformt, wobei mehrphasige, niedrigthermale Alteration und Illitneubildung stattfand (Kap. 7).
4. Bei der Herauswölbung des Oberrheinischen Schildes in Südwestdeutschland und dem dabei ausgelösten Einbruch des Oberrheingrabens wurden am Schauinsland grabenparallel verlaufende spätvariszische Scherzonen in den Gneisen durch dextral schrägabschiebende strike slip-Tektonik reaktiviert. Dabei wurden die älteren Ruscheln in die Gangstörungen eingeschleppt. Wahrscheinlich im Jungtertiär kam es zur Gangöffnung, zum Aufstieg von Tiefenlösungen in die Unterdruckzonen der geöffneten Spalten und zur dreiphasigen Quarz-Calcit-Baryt-Zinkblende-Bleiglanz-Mineralisation.
5. Die jüngsten nachweisbaren Aktivierungen der alten Störungen sind postmineralisch und äußern sich in subhorizontalen sinistralen Blattverschiebungen, an welchen die Gänge örtlich geringfügig versetzt werden. Sie sind auf das seit dem Jungmiozän herrschende Stressfeld (SSE–NNW gerichtete Kompression) zu beziehen (WERNER & FRANZKE 2001).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

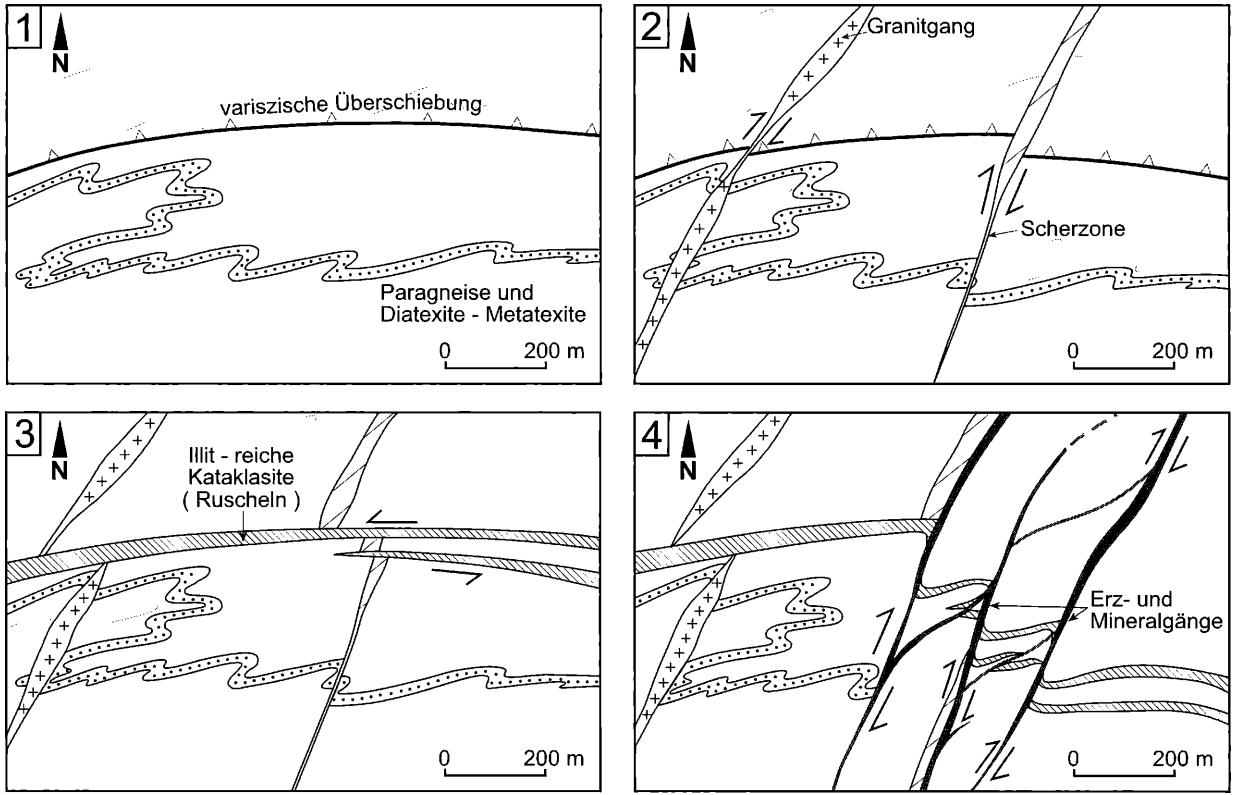


Abb. 25: Synopse der tektonischen Entwicklung am Schauinsland: **(1)** Tektonische Situation gegen Ende der variszischen Einengungstektonik (**Oberkarbon**); eine quarzitische Lage der Paragneise ist schematisch herausgehoben. **(2)** Intrusion von Ganggraniten und Bildung von Scherzonen noch unter schwach metamorphen Bedingungen, beide parallel zum späteren Oberrheingraben (**Oberkarbon–Perm**). **(3)** Entstehung der Ruschelstörungen durch Kataklase, niedrigthermale Alteration und Illitneubildung, wobei vor allem variszische Überschiebungen durch linkslaterale streckende Scherung überprägt wurden (**Jura–Kreide**). **(4)** Öffnung der Gangstörungen durch rechtslaterale schrägabschiebende Scherung unter teilweiser Reaktivierung der spätvariszischen Scherzonen, dreiphasige Hydrothermalmineralisation (**Tertiär**).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Woher stammen die Hydrothermen und die Metalle, die in den Gängen des Schauinslands fixiert wurden? Für die meisten Erzlagerstätten Mitteleuropas wurden mehrere Genesetheorien aufgestellt, wobei stets eine Abhängigkeit der Modelle von jeweils aktuellen Vorstellungen der Zeit oder von bestimmten Lehrmeinungen erkennbar wird. Wie die in Kap. 1 dargestellte Erforschungsgeschichte der Lagerstätte Schauinsland zeigt, wurde aufgrund der lokalen geologisch-tektonischen Verhältnisse zunächst angenommen, dass während des Tertiärs Thermalwässer mit Metallen aus dem durchströmten Gebirge, evtl. auch aus intrusiven basaltischen Gesteinen, aufgestiegen sind. Erst die Vorstellung, dass Erzgänge mit der Abkühlung der Granitintrusionen des Schwarzwalds verknüpft sein müssten (SCHNEIDERHÖHN 1929 und 1962 u. v. a.), führte zur Annahme eines oberkarbonisch-permischen Alters dieser und aller anderen Erzgänge im Kristallin. Für die rund 150 Mineralgänge im Bereich der Geologischen Karte von Freiburg i. Br. und Umgebung 1 50 000 wird noch 1996 ein oberkarbonisches Alter angenommen (MAUS in: GROSCHOPF et al. 1996: 64–65).

Das Modell von „intrusiv-hydrothermalen Erzgängen" war in der Vorstellung der Lagerstättenbearbeiter so fest verankert, dass die Existenz von tertiärzeitlichen Erz- und Mineralgängen auf der Schwarzwaldrandstörung zwischen Badenweiler und Freiamt (z. B. METZ et al. 1957) nicht zu ernsthaften Zweifeln am Modell führte. Man vermutete, dass „erzleere" Hydrothermen im Zusammenhang mit der tertärzeitlichen Grabentektonik den Inhalt der alten Erzgänge lediglich umgelagert hätten. Man erkannte also an, dass tertiärzeitliche Hydrothermen existierten, auch dass sie in der Lage waren, Metalle zu lösen und zu transportieren, aber nicht, dass sie selbst Metalle und Fluor (Flußspatgänge) aus dem Kristallin mobilisieren könnten. Zwar lieferten die Untersuchungen der SEE-Verteilungen in Fluoriten von MÖLLER et al. (1982) den Nachweis, dass die von diesen Autoren untersuchten großen Erz- und Mineralgänge des Schwarzwalds (Käfersteige, Clara, Gänge im Untermünstertal, Gottesehre, Menzenschwand) nicht magmatischer Herkunft sind, sondern aus hydrothermalen Konvektionssystemen abgeleitet werden müssen, die vor allem die Gneise gelaugt haben. Eine konsequente Revision der Modellvorstellungen blieb jedoch – trotz wachsender Zweifel – aus.

Als wichtiges Argument für ein variszisches Alter war von allen Anhängern des Modells der intrusiv-hydrothermalen Gänge das Fehlen (oder besser: der fehlende Nachweis) der Hydrothermalgänge im Deckenporphyr des Münstertales und ihre „Vorliebe" für das präpermische Gneisgebirge angeführt worden (Kap. 1). Für das bevorzugte Auftreten von Erz- und Mineralgängen im Gneis gibt es nach unserer Ansicht tektonische Gründe: (1) Im Gegensatz zu den Deckenporphyren enthält das variszische Gneisgebirge bereits zahlreiche alte Störungsstrukturen (vgl. z. B. ILLIES 1962), welche durch Reaktivierung die spätere Bildung von tiefreichenden Extensionsrissen ermöglichen. Präexistente Störungen, die z. B. bei der synmetamorphen tektonischen Beanspruchung des Grundgebirges entstanden sind, spielen bei der erneuten Deformation und Bildung von weiteren Brüchen stets eine wichtige Rolle; sie werden bei günstigem Stressfeld reaktiviert und erweitert. Die meisten strukturgeologisch untersuchten Gangvererzungen des Schwarzwalds liegen auf bereits variszisch angelegten Störungszonen (FRANZKE & WERNER 1994; WERNER & FRANZKE 1994; WERNER 1996). Dieser Zusammenhang ist auch aus anderen variszischen Gebirgen gut bekannt (WERNER 1990, WERNER & WALTHER 1995; FRANZKE & ZERJADKTE 1999). Zuvor war dargestellt worden, dass z. B. der Roggenbachgang einer synmetamorph ange-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

legten dextralen Scherzone folgt (Kap. 6.1, Abb. 18). Variszische Scherzonen können nach ihrer Freilegung durch die spätkarbonisch–frühpermische Erosion von deckenartig abgelagerten Vulkaniten überdeckt werden. Bei einer späteren, z. B. kreide- oder tertiärzeitlichen tektonischen Beanspruchung des Grundgebirges können die Gneise bevorzugt entlang alter Störungszonen aufreißen, während der massige Deckenporphyr (Abb. 3) in Form von unregelmäßiger Klüftung auf tektonische Beanspruchung reagiert. Auch eine basale tonigschluffige Gneisverwitterungschicht, wie sie für den Münstertäler Deckenporphyr nachgewiesen ist (MAUS in: GROSCHOPF et al. 1996: 66), kann das Aufdringen von Hydrothermen in einen Deckenporphyr verhindern.

(2) Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen Paragneisen und Deckenporphyren besteht im bruchmechanischen Verhalten und somit auch in den hydraulischen Eigenschaften dieser Gesteine. Bei der Untersuchung tiefer Grundwasserströme im Kristallin konnten STOBER & BUCHER (1999) nachweisen, dass in den Gneisen des Grundgebirges noch in Tiefen von 3000–4000 m und darunter stark mineralisierte Wässer auf offenen Spalten zirkulieren können. Unter hohen Fluiddrücken kommt es hier zur elastischen Weitung der Brüche im Gneis. Granite, also Quarz-Feldspat-Gemenge mit wenig Glimmermineralen und ohne bevorzugte Mineralorientierung, weisen eine durchschnittliche Permeabilität von $K = 10^{-6}$ m/sec auf; in Gneisen hingegen, für die ein ausgeprägt anisotropes Gefüge und ein hoher Glimmeranteil typisch ist, beträgt die durchschnittliche Permeabilität $K = 5 \times 10^{-8}$ m/sec, ist also deutlich geringer. Granite reagieren auf tektonischen Druck durch spröden Bruch und die Bildung zahlreicher gleichberechtigter, meist orthogonaler Brüche, was zur vergleichsweise erhöhten Durchlässigkeit führt. Gneise verhalten sich aufgrund von geregeltem glimmerreichem Gefüge eher duktil, Brüche sind seltener und folgen bestehenden Anisotropieflächen. Daraus resultiert, dass die Zirkulation von hydrothermalen Lösungen in Graniten auf sehr zahlreichen Klüften in unterschiedlichen Richtungen erfolgen kann, eine gerichtete hydrothermale Konvektion baut sich nur schwer auf. In Gneisen konzentriert sich der Lösungsstrom auf wenige Trennflächen (z. B. Störungen), die bei hohen Fluiddrücken erweitert werden können. Ein gerichtetes Fließsystem mit einer Konvektion auf einzelnen tiefreichenden Brüchen kann sich leichter ausbilden.

Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen in Zinkblenden und Quarzen machen wahrscheinlich, dass im Schauinsland der Absatz der Erze sowie der Gangartminerale Quarz und Calcit auf ein postvariszisches Fluidsystem zurückgeht (Abb. 17). Die Mineralisation ist eine Folge der Mischung von vadosen Niederschlagswässern mit Alterationswässern des Grundgebirges bei Temperaturen von ca. 90–150°C. Die Zusammensetzung des Baryts zeigt nach schwefelisotopischen Analysen von MITTELSTÄDT (1987), dass es sich um sog. Evaporit-Sulfate handelt. Besonders mächtige Evaporite treten in den oligozänen Pechelbronner Schichten (z. B. Kalisalzlager von Buggingen–Heitersheim) des Oberrheingrabens auf. LÜDERS (1994) konnte durch Flüssigkeitseinschluss-Untersuchungen an den Mineralgängen von Badenweiler (Quarzriff) und den Quarz-führenden Schwerspatgängen bei Freiamt und Sexau ebenfalls nachweisen, dass die hydrothermale Mineralisation auf die Mischung von aszendenten, hochsalinaren Lösungen mit deszendeten Formationswässern zurückzuführen ist. Nach MÖLLER et al. (1990) entstanden auch die Oberharzer Erzgänge durch die Mischung von hochsalinaren Tiefenwässern aus dem Grundgebirge mit deutlich niedriger salinaren Formationswässern aus den benachbarten Sedimenttrögen (Abb. 26 A). Wie im Schwarzwald wurden die hydrothermalen Mineralisationen des Harzes von früheren Bearbeitern als Derivate der oberkarbonischen Granitintrusionen angesehen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

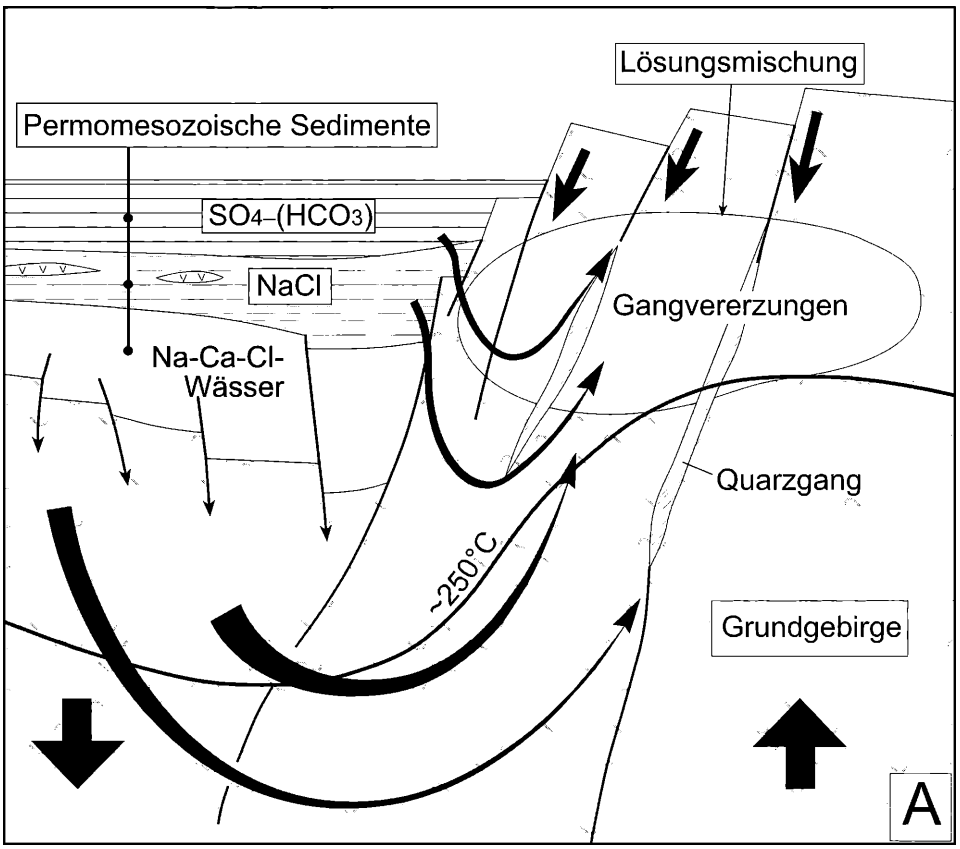


Abb. 26(A): Modelle zur Zirkulation und Mischung von wässrigen Lösungen in Grundgebirgsaufbrüchen neben Sedimenttrögen. (A) Entwicklung postvariszischer hydrothermaler Mineralisationen in Mitteleuropa nach einem Modell von BEHR & GERLER (1987); SO_4-, Na-, Ca- und Cl-reiche Lösungen aus permomesozoischen Sedimentbecken gelangen in Grundgebirgshorsten in den Mischungsbereich mit kühlen Oberflächenwässern, wo die Ausscheidung der durch salinare Lösungen aus dem Grundgebirge gelaugten Metalle auf Erzgängen erfolgt.

Unsere Untersuchungen zeigen auch, dass die Flüssigkeitseinschlüsse in den Zinkblenden der Erzgänge VI und III reichlich Kohlenwasserstoffe enthalten und zwar in einer Konzentration von bis zu 3700 µg/g Zinkblende. In allen Proben konnten C_2–C_6-n-Alkane und Benzol in nahezu gleichen Mengenverhältnissen sowie Spuren von Methan festgestellt werden. Die Signaturen belegen eindeutig, dass es sich um Mineralisationen des postvariszischen Zyklus handelt (vgl. JOCHUM 2000). Wie in den Zinkblenden der Freiamt-Sexauer Barytgänge weisen die Kohlenwasserstoffe in den Zinkblenden des Schauinslands die geochemische Signatur der oligozänen Pechelbronner Schichten des Oberrheingrabens auf (Kerogentyp II aus marinem organischem Material unter Beteiligung von eingeschwemmten Landpflanzen). Zum Vergleich entnommene Proben aus der Grube Teufelsgrund im

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Münstertal und von der Grube Haus Baden am Badenweiler-Quarzriff – ein mächtiger Quarzgang genau auf der Schwarzwaldrandstörung gelegen – enthielten ebenfalls Kohlenwasserstoffe in den Flüssigkeitseinschlüssen in Zinkblende und Bleiglanz. Auch sie weisen die selbe geochemische Kohlenwasserstoff-Signatur auf wie die Zinkblenden vom Schauinsland und aus der Grube Caroline.

Die Ausfällung der Metalle der Hydrothermen erfolgte sehr wahrscheinlich unter Beteiligung der in den Formationswässern mitgeführten Kohlenwasserstoffe. Ein solcher Reaktionsmechanismus, der die Fällung der Metalle als Sulfide auslösen kann, ist die thermochemische Sulfatreduktion. Hierbei wird der für die Sulfidfällung benötigte Schwefelwasserstoff über eine abiotische Reduktion des Sulfates in Anwesenheit von Kohlenwasserstoffen als Reduktionsmittel bereitgestellt (z.B. ORR 1977, MACHEL et al. 1995). Im Gegensatz zur bakteriellen Sulfatreduktion setzt die thermochemische Sulfatreduktion erst bei höheren Temperaturen (oberhalb von 100 °C) ein. Die über Flüssigkeitseinschluss-Untersuchungen ermittelte Bildungstemperatur der Zinkblende von 120 °C (vgl. Kap. 5.4) liegt in einem für die thermochemische Sulfatreduktion besonders günstigen Temperaturfeld, so dass die abiotische Reduktion des Sulfates als wesentlicher sulfidbildender Prozess angenommen werden muß.

Das von LÜDERS (1994), GERMANN et al. (1994) und WERNER (1994) am Beispiel der Hydrothermalgänge des Bergbaureviers Freiamt-Sexau vorgestellte Bildungsmodell kann zwanglos auf die Erz- und Mineralgänge des Schauinslands übertragen werden. So ist davon auszugehen, dass auch hier der Antransport der Metalle in einer hochtemperierten, hochsalinaren Lösung, die ihren Ursprung im kristallinen Untergrund des Schwarzwaldes hatte, stattfand. Im heutigen Lagerstättenbereich kam es dann zu einer Zumischung salinarer, sulfathaltiger und Kohlenwasserstoff-führender Formationswässer mit den Charakteristika von „oilfield brines" aus dem Oberrheingraben.

Die in Abb. 26 (A–C) dargestellten Modelle verdeutlichen die geologisch-tektonischen Verhältnisse in drei verschiedenen Gebieten, in denen fossile oder rezente Hydrothermalsysteme eingehend untersucht wurden. Abb. 26 (A) zeigt die Entwicklung postvariszischer hydrothermaler Mineralisationen in Mitteleuropa nach einem Modell von BEHR & GERLER (1987); SO_4-, Na-, Ca- und Cl-reiche Lösungen aus permomesozoischen Sedimentbecken, die über tiefreichende extensionale Bruchzonen in das Basement infiltriert sind, werden hier über 300 °C aufgeheizt und migrieren in die kühleren Grundgebirgsaufbrüche, wo sie nach ihrem Aufstieg auf Störungen in den Mischungsbereich mit kühlen Oberflächenwässern gelangen. Hier erfolgt die Ausscheidung der durch die salinaren Lösungen aus dem Grundgebirge gelaugten Metalle auf Erzgängen.

Die Abb. 26 (B) illustriert das Modell für die Entstehung der erzführenden Baryt-Quarzgänge im Revier Freiamt-Sexau nahe der Schwarzwaldrandstörung (nach LÜDERS 1994 und WERNER 1994). Die Mineralgänge entstanden hier während jungtertiärer Störungstektonik. Bevorzugt in den spätvariszisch (Perm–Untertrias) verkieselten Störungszonen, die z. T. im Karbon bereits den Aufstieg von granitischen Schmelzen ermöglicht haben, rissen bei der Blattverschiebungstektonik Spalten auf. In diesen konnten sich Ba-, Sr- und metallreiche $CaCl_2$-NaCl-betonte Alterationslösungen aus dem Kristallin (mit initialen Lösungstemperaturen von über 250 °C) mit kühlen, sulfatreichen und kohlenwasserstoffführenden Formationswässern aus dem Graben bzw. dem Deckgebirge mischen. Hier kam es zu Baryt- und Erzabscheidung.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

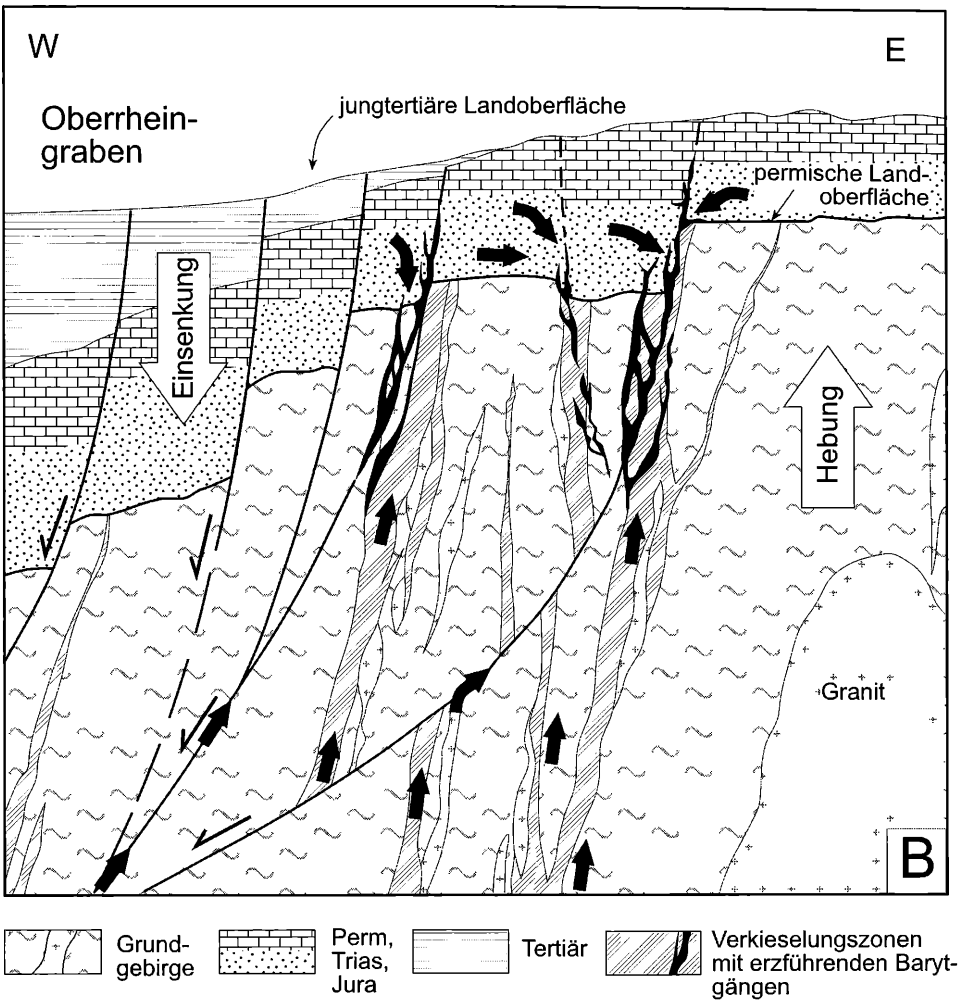


Abb. 26(B): Modell für die Entstehung der erzführenden Baryt-Quarzgänge im Revier Freiamt-Sexau nahe der Schwarzwaldrandstörung (nach LÜDERS 1994 und WERNER 1994). Die Mineralgänge entstanden während jungtertiärer Störungstektonik bevorzugt in den spätvariszisch verkieselten Störungszonen. Metallreiche $CaCl_2$-NaCl-betonte Alterationslösungen aus dem Kristallin mischten sich mit kühlen, sulfatreichen und kohlenwasserstoffführenden Formationswässern aus dem Graben bzw. dem Deckgebirge. Hier kam es zu Baryt- und Erzabscheidung.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

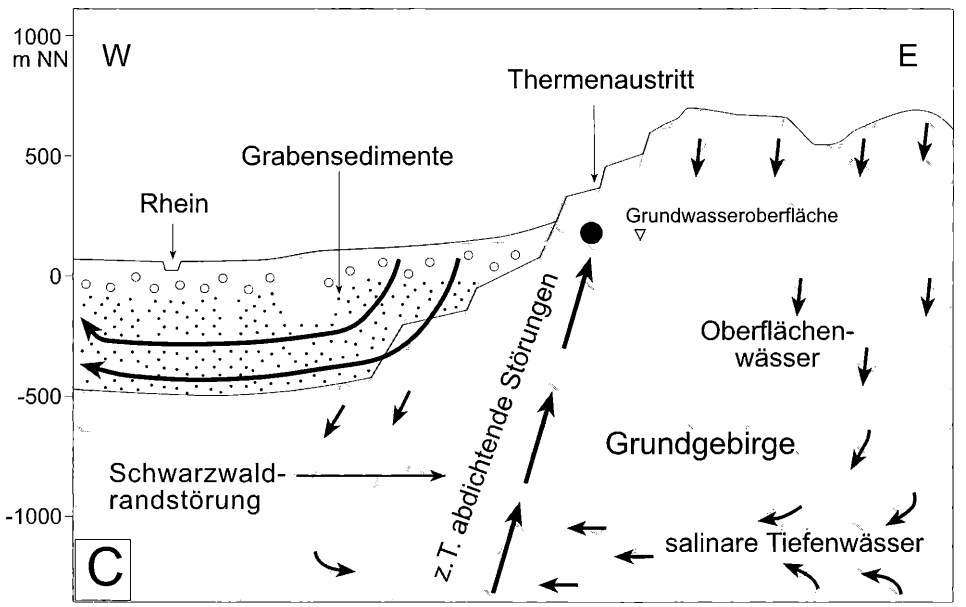


Abb. 26(C): Schematisches W–E-Profil durch den Ostrand des Oberrheingrabens bei Ohlsbach (SE Offenburg) mit Darstellung rezenter Grund- und Tiefenwasserströmungen (nach STOBER et al. 1999, geringfügig ergänzt) (Erläuterung s. Text).

Abb. 26 (C) schließlich zeigt in einem schematischen W–E-Profil durch den Ostrand des Oberrheingrabens bei Ohlsbach (SE Offenburg) die Rekonstruktion rezenter Grund- und Tiefenwasserströmungen (nach STOBER et al. 1999). Tief in das Kristallin infiltrierte Oberflächenwässer heizen sich im Untergrund auf und wandern der Randstörung des Oberrheingrabens zu. Salinare Tiefenlösungen verharrten vermutlich z. T. seit dem Oligozän (extensionale Riftphase mit Sedimentation von NaCl- und KCl-reichen Evaporiten) im Grundgebirge. Sie werden nahe der Randstörung, die durch tonmineralreiche Mikrokataklasite teilweise abgedichtet ist, mit dem Druck- und Temperaturgefälle zum Thermenaustrittspunkt bei Ohlsbach transportiert. Hier erfolgt die Mischung mit dem Richtung Rheintal abfließenden Oberflächenwasser. Eine Vererzung der Störungen ist hier bisher nicht nachgewiesen, ist jedoch in Analogie zu vielen bekannten Hydrothermalmineralisationen auf der Schwarzwaldrandverwerfung (z. B. NESSELER et al. 1993, WERNER & FRANZKE 1994) sehr wahrscheinlich.

Aufgrund der geochemischen Untersuchungen an Erzen, Gangartmineralen und wässrigen sowie Kohlenwasserstoff-führenden Flüssigkeitseinschlüssen erscheint eine Entstehung der heute vorliegenden Erz- und Mineralgänge des Schauinslands aus der Mischung von heißen, salinaren Alterationslösungen aus dem Kristallin und kühlen Formationswässern nach dem Oligozän als am wahrscheinlichsten; eine frühere hydrothermale Mineralisation auf den Gangstörungen ist jedoch aufgrund der Befunde auf anderen Ganglagerstätten (s. Kap. 7) und der Illitalter der Letten der Gangstörungen von Gang III und Diagonaltrum 4 (ca. 98–70 Ma) denkbar. BERGERAT (1987) leitete mittels Paläostressanalysen an Stö-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

rungspopulationen eine zeitliche Veränderung der maximalen horizontalen Hauptnormalspannungen in Süddeutschland ab. Danach herrschte im Oligozän N–S-Kompression bzw. E–W-Weitung vor, was mit der raschen Einsenkung des südlichen Oberrheingrabens und der hohen Sedimentakkumulation im Graben korreliert. Im frühen Miozän hingegen herrschte NE–SW gerichtete Kompression vor, die auf präexistenten N–S bis NNE–SSW verlaufenden Störungen im Grundgebirge dextrale Scherbewegungen erzeugen musste. Die Rekonstruktion des synmineralischen Spannungszustands anhand der Hydrothermalgänge am Schauinsland ergibt, daß σ_{Hmax} zum Zeitpunkt der Vererzung in NE–SW-Richtung orientiert war. Dies läßt darauf schließen, dass die Vererzung am Schauinsland im frühen Miozän, also vor ca. 20 Mio. Jahren erfolgte.

Danksagung

Unser Dank gilt Prof. Dr. H. J. Lippolt für die Mitteilung unpublizierter geochronologischer Untersuchungen, H. J. Leyk (beide Labor f. Geochronologie der Univ. Heidelberg) für die Präparation der Illit-führenden Ruschelproben, Dr. K. Burgath (BGR Hannover), I. Sander und Dr. M. Martin für die Durchführung geochemischer Analysen, J. Crocoll und J. Schuff (alle LGRB, Freiburg) für die Anfertigung der Abbildungen sowie M. Kiefer und U. Ziehler (Freiburg) für die Unterstützung bei der Kartierung und Probenahme unter Tage. Für Anregungen zum Manuskript sind wir Herrn Prof. Dr. W. Wimmenauer (Freiburg) und Frau Dr. A. Werner (Ebringen) zu herzlichem Dank verpflichtet.

Angeführte Schriften

ALBIEZ, G. (1964): Der Bergbau am Schauinsland. – Freiburger Almanach, **1964**: 115–120, 5 Abb.; Freiburg i. Br.

BARANYI, I., LIPPOLT, H.J. & TODT, W. (1976): Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingraben-Gebietes: II Die Traverse vom Hegau nach Lothringen. – Oberrh. geol. Abh., **25**: 41–62, 6 Abb.; Karlsruhe.

BAX, K. (1981): Schätze aus der Erde. Die Geschichte des Bergbaus. – 359 S., zahlr. Abb.; Düsseldorf, Wien (Econ).

BECKSMANN, R., KOBLER, F. & KURMANN, P. (1996): Das Freiburger Münster – der Bau und seine Originalausstattung. – In: HAUMANN, H. & SCHADEK, H: Geschichte der Stadt Freiburg im Breisgau, I: 343–375, 15 Abb.; Stuttgart (Theiss).

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. – In: HORN, E. E. & BEHR, H. J. (Hrsg.): Current research on fluid inclusions. ECRFI Göttingen, 10.–12. April 1985. – Chem. Geol., **61**: 65–77; New York.

BEHR, H.-J., GERLER, J., HORN, E. E. & REUTEL, C. (1986): Fluide und Erzlagerstätten. – Tagungsband 2. KTB-Kolloqium Seeheim/Odenwald, 19.9–21.9.1986; Bonn.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

BEHR, H.-J., HORN, E. E., FRENTZEL-BEYME, K. & REUTEL, C. (1987): Fluid inclusion characteristics of the Variscan and post-Variscan mineralizing fluids in the Federal Republic of Germany. – Chem. Geol., **61**: 273–285; New York.

BERGERAT, F. (1987): Stress fields in the European platform at the time of Africa-Eurasia collision. – Tectonics, **6**: 99–132; Washington, DC.

BOIGK, H. & SCHÖNEICH, H. (1970): Die Tiefenlage der Permbasis im nördlichen Teil des Oberrheingrabens. – In: H. J. Illies & S. Müller (Hrsg.): Graben problems. Proceed. Intern. Rift. Symp. Karlsruhe; Scient. Rep., **27**: 45–55; Stuttgart.

BRANDNER, TH. & LIPPOLT, H. J. (1999): Das Alter der Roteisenerze in der Verkieselungszone bei Rammelsbach (Münstertal, Südschwarzwald) nach (U + Th)/^{4}He-Untersuchungen. – Jh. Landesamt f. Geol., Rohst. u. Bergbau Baden-Württ. – **38**: 7–42, 8 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

BREYVOGEL, B. (2001): Silbergewinnung und Silberhandel am südlichen Oberrhein. – In: S. LORENZ & Th. ZOTZ (Hrsg.): Spätmittelalter am Oberrhein. Alltag, Handwerk und Handel 1350–1525 (Bad. Landesmuseum Karlsruhe), Aufsatzband: 63–71; Stuttgart (Thorbecke).

BURGATH, K.P., HARTLIEB, Ch., MOHR, M. & TOBSCHALL, H.J. (1993): Syn- and postorogenic scheelite mineralization in the Schwarzwald. – Protokoll über das 7. Wissenschaftliche Kolloqium im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Intraformationale Lagerstättenbildung" (Bad Herrenalb): 68–70; Bonn.

CARATO, H. J. Ritter von (1786): Haubtrelation über alle in den k k. oesterreichischen Vorlanden befindliche, theils wirklich in Bau stehende 2ten theils aufgelassene Gruben und Bergwercke. Freyburg, Manuskript (Generallandesarchiv Karlsruhe).

DEMSKI, C. (1980): Einschlußuntersuchungen an Flußspat der Grube Gottesehre südlich von St. Blasien im Schwarzwald. – Dipl.-Arb. Univ. Hamburg: 111 S., 69 Abb., Hamburg (unveröff.).

DENNERT, V. (1994): Besondere Entwicklungen der Bergbautechnik im Schwarzwald und in den Vogesen im 16. Jahrhundert. – Europ. Metallkonferenz EMC 1994, Vortragsband Bergbaureviere im 16. Jahrhundert: 49–54, 1 Abb.; Clausthal-Zellerfeld (GDMB).

ECHTLER, H. P. & CHAUVET, A. (1992): Carboniferous convergence and subsequent crustal extension in the southern Schwarzwald (SW Germany). – Geodinamica Acta (Paris) 1991–1992, **5**: 37–49; Paris.

EISBACHER, G.H., LÜSCHEN, E. & WICKERT, F. (1989): Crustal-scale thrusting and extension in the Hercynian Schwarzwald and Vosges, Central Europe. – Tectonics, **8**: 1–21; Washington, D. C.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

FLÖTTMANN, Th. (1988): Strukturentwicklung, P-T-Pfade und Deformationsprozesse im zentralschwarzwälder Gneiskomplex. – Frankfurter geowiss. Arb., **A6**: 206 S., Frankfurt (Main).

FRANZKE, H.J. & WERNER, W. (1994): Wie beeinflußte die Tektonik des Kristallins und des Rheingrabens die hydrothermale Mineralisation der Gangstrukturen des Schwarzwalds? – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 99–118, 10 Abb.; Freiburg i. Br.

FRANZKE, H.J. & ZERJADTKE, W. (1999): Übersicht über die Bildung der hydrothermalen Gänge des östlichen Harzes – ein Fortschrittsbericht. – Aufschluss, Sonderband **1999**: 49–63, 22 Abb.; Heidelberg.

GANTER, S. (1995): 3D-Modellierung der Grube Schauinsland, Südschwarzwald. – Diplomarbeit Univ. Freiburg: 80 S., 11 Abb., 4 Tab., 3 Taf., 17 Risse; Freiburg i. Br.

GARZIA-GONZALES, M. T. & WIMMENAUER, W. (1975): Mineralogische und geochemische Untersuchungen an tektonischen Störungszonen im Grundgebirge des Schwarzwalds. – Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **65**: 97–118, 8 Abb.; Freiburg i. Br.

GEHLEN, K. v. (1953): Erzgänge und Bergbau zwischen Schönau im Schwarzwald und Belchen. – Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br, **43**: 93–120, 5 Abb.; Freiburg i. Br.

GEHLEN, K. v. (1955): Gesteine und Blei-Zink-führende Flußspatgänge zwischen Feldberg und Belchen. Teil II: Die Flußspatgänge von Wieden und ihre tektonische Stellung. – N. Jb. Mineral., Abh., **88**: 15–54; Stuttgart.

GEHLEN, K. v. (1987): Formation of Pb-Zn-F-Ba mineralizations in SW Germany: a status report. – Fortschr. Mineral., **65**: 87–113, 8 Abb.; Stuttgart.

GEHLEN, K. v., ZEINO, H. MURAD, E & SAMANN, A. (1969): Neue Ergebnisse zur Genese der Vererzung im südlichen Schwarzwald. – Z. dt. geol. Ges., **1969**: 75–78; Stuttgart.

GERMANN, A., LANG, R., WERNER, W. & FRIEDRICH, G. (1994a): Barite-suphide mineralization of the Caroline vein system near Sexau, Black Forest, Germany. – In: Metallogeny of collisional orogens focussed on the Erzgebirge and comparable metallogenic settings (SELTMANN, R., KÄMPF, H. & MÖLLER, P., Hrsg.). – Proceedings of the IAGOD Erzgebirge meeting, Geyer, 4.–6. Juni 1993: 270–273, 3 Abb., 2 Tab.; Prag (Czech Geol. Survey).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

GERMANN, A., LANG, R., WERNER, W. & FRIEDRICH, G. (1994b): Zur Mineralogie und Geochemie der Erzgänge im Bergrevier Freiamt–Sexau im Mittleren Schwarzwald. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ, **14**: 119–154, 22 Abb., 6 Tab.; Freiburg i. Br.

GOLDENBERG, G. (1993): Frühe Umweltbelastungen durch Bergbau und Hüttenwesen. – In: Alter Bergbau in Deutschland (H. STEUER & U. ZIMMERMANN, Hrsg.): 107–113; Stuttgart (Theiss).

GOLDENBERG, G. (1994): Archäometallurgische Untersuchungen zur Entwicklung des Metallhüttenwesens im Südschwarzwald (Blei, Silber, Kupfer – Frühgeschichte bis 19. Jahrhundert). – 214 S., 66 Abb.; Freiburg i. Br. (Diss. Univ. Freiburg).

GOTTSCHALK, R. (1999): Zur Nutzung des Bleis. – Archäol. Informationen aus Baden-Württ. (Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald), **41**: 113–116; Stuttgart. – [Landesdenkmalamt Baden-Württemberg, Hrsg.].

GRAUERT, B., BAUMANN, A. & KALT, A. (1990): Variszische HT-Mylonite und -Anatexite im zentralen Schwarzwald. – Ergebnisse aus Rb-Sr-Altersbestimmungen an Gesamtgesteinen. – Beih. Europ. J. Mineral., **2**,1: 81; Stuttgart.

GRIMM, B. & H. PRIER (1997): Untersuchungen über das Schüttungsverhalten von Grundgebirgsquellen des südlichen Schwarzwalds. – Jh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **36**: 215–262, 9 Abb., 14 Tab., Freiburg i. Br.

GROSCHOPF, R., KESSLER, G., LEIBER, J., MAUS, H., OHMERT, W., SCHREINER, A., WIMMENAUER, W., mit Beiträgen von ALBIEZ, G., HÜTTNER, R. & WENDT, O. (1981): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Freiburg im Breisgau und Umgebung 1 50 000. – 354 S., 27 Abb., 7 Taf., 1 Beil.; Stuttgart.

GROSCHOPF, R., KESSLER, G., LEIBER, J., MAUS, H., OHMERT, W., SCHREINER, A., WIMMENAUER, W., mit Beiträgen von ALBIEZ, G., HÜTTNER, R. & WENDT, O. (1996): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Freiburg im Breisgau und Umgebung 1 50 000.– 364 S., 27 Abb., 7 Taf., 1 Beil.; Freiburg i. Br. (3., ergänzte Aufl.).

HAASIS-BERNER, A. (1999): Der Bergbau nördlich von Freiburg und die montane Wasserwirtschaft. – Archäol. Informationen aus Baden-Württ. (Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald), **41**: 97–101; Stuttgart. – [Landesdenkmalamt Baden-Württ., Hrsg.].

HAASIS-BERNER, A. (2001): Wasserkünste, Hangkanäle und Staudämme im Mittelalter. Eine archäologisch-historische Untersuchung zum Wasserbau am Beispiel des Urgrabens am Kandel im mittleren Schwarzwald. – Freiburger Beiträge zur Archäologie und Geschichte des ersten Jahrtausends, **5**: 211 S., 33 Taf.; Rahden/ Westfalen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

HAGEDORN, B. & LIPPOLT, H. J. (1994): Isotopische Alter von Zerrüttungszonen als Altersschranken der Freiamt-Sexau-Mineralisation (Mittlerer Schwarzwald). – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 205–219, 4 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

HANEL, M., MONTENARI, M. & LIPPOLT, H. J. (1996): Early Paleozoic sedimentation age and Upper Carboniferous shearing of amphibolite facies metasediments from the Moldanubian Zone of the northern Schwarzwald (Bühl-1 drilling site), SW Germany. – Ber. dt. Miner. Ges., Beih. Z. J. Mineral., **8**: 88; Stuttgart.

HANN, H. P. & SAWATZKI, G. (1998): Deckenbau und Sedimentationsalter im Grundgebirge des Südschwarzwaldes / SW–Deutschland.– Z. dt. geol. Ges., **149**: 183–195; Stuttgart.

HEIDINGER, M. (1995): Ergebnisse der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Untersuchungen an Grundwässern der Grube Schauinsland und Quellwässern der umliegenden Bereiche. – Bericht Fa. Hydroisotop vom 12.07.1995.

HELDMANN, H. (1997): Zur Herkunft salinarer Wässer am Rande des südlichen Oberrheingrabens. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **37**: 125–156, 11 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

HENGLEIN, M. (1924): Erz- und Minerallagerstätten des Schwarzwaldes. – 196 S., 27 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart).

HILDEBRANDT, L. H. (2001): Mittelalterlicher Blei-Silber-Bergbau in Nordbaden. – In: S. LORENZ & Th. ZOTZ (Hrsg.): Spätmittelalter am Oberrhein. Alltag, Handwerk und Handel 1350–1525 (Bad. Landesmuseum Karlsruhe), Aufsatzband: 243–246; Stuttgart (Thorbecke).

HIRSCHMANN, G. (1985): Lithostratigraphic units in the gneisses of the Central Schwarzwald. – 2nd Int. Symp. on observation of the continental crust through drilling; Seeheim 7.–9. Oct. 1985: 8–12; Seeheim.

HRADETZKI, H. (1989): Untersuchungen zur prävariskischen geologischen Entwicklung des zentralen Schwarzwaldes. – 200 S.; Heidelberg (Diss. Univ. Heidelberg).

HOENES, D. (1937): Gesteine und Erzlagerstätten im Schwarzwälder Grundgebirge zwischen Schauinsland, Untermünstertal und Belchen. – N. Jb. Min., Geol, & Pal., Beil.-Bd. **72**, Abt. A: 265–346, 5 Abb., 2 Taf.; Stuttgart.

HOFMANN, B. & EIKENBERG, J. (1991): The Krunkelbach uranium deposit, Schwarzwald, Germany. Correlation of radiometric ages (U-Pb, U-Xe-Kr, K-Ar, ^{230}Th-^{234}U). – Econ. Geol., **86**: 1031–1049; New Haven.

HORSFIELD, B., DISKO, U. & LEISTNER, F. (1989): The micro-scale simulation of maturation: outline of a new technique and its potential applications. – Geol. Rdsch., **78**: 361–374, 8 Abb., 1 Tab; Stuttgart.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

HURRLE, H. (1978): Nebenelemente in Zinkblenden des Südschwarzwaldes. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **20**: 7–14, 3 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.

HÜTTNER, R. (1977): Tektonik im Grundgebirge. – Erl. Geol. Kt. Freiburg i. Br. u. Umgebung 1: 50.000: 199–228, 1 Abb., 1 Beil.; Freiburg i. Br.

HÜTTNER, R. (1991): Bau und Entwicklung des Oberrheingrabens – Ein Überblick mit historischer Rückschau. – Geol. Jb., **E 48**: 17–42; Hannover.

HÜTTNER, R. & WIMMENAUER, W. (1967): Erläuterungen zu Blatt 8013 Freiburg. – Geol. Karte Baden-Württ. 1 25 000: 159 S., 2 Abb., 8 Taf., 3 Beil.; Stuttgart.

ILLIES, H. (1962): Oberrheinisches Grundgebirge und Rheingraben. – Geol. Rdsch., **52**: 317–332, 10 Abb.; Stuttgart.

JOCHUM, J. (1999): Die Bedeutung von Kohlenwasserstoffen bei der Bildung hydrothermaler Buntmetallvorkommen – Neue Modelle zur Genese am Beispiel variskischer und postvariskischer Lagerstätten des Rheinischen Schiefergebirges. – Habilitationsschrift, RWTH Aachen, 1–153, 54 Abb., 20 Tab.; Aachen.

JOCHUM, J. (2000): Variscan and post-Variscan lead-zinc mineralization, Rhenish Massif, Germany: Evidence for sulphide precipitation via thermochemical sulphate reduction. – Mineralium Deposita, **35**: 451–464, 12 Abb., 1 Tab.; Berlin.

KALT, A., GRAUERT, B., SCHLEICHER, H. & KRAMM, U. (1994): Petrology and geochronology of eclogites from the Variscan Schwarzwald (F. R. G.). – Contrib. Mineral. Petrol., **115**: 287–302; Stuttgart.

KAUTZSCH, E. (1936): Die Blei-Zinkerzgänge im oberen Münstertal und nördlich des Belchen (Schwarzwald). – N. Jb. Miner. Abh., Beil.-Bd., **71A**: 214–240, 1 Abb., 3 Taf., 4 Textbeil.; Stuttgart.

KESSLER, G., GROSCHOPF, R., WIMMENAUER, W., SAWATZKI, G. & HANN, H. P. (1998): Exkursionsführer zur 15. Versammlung der Subkommission Riphähikum – Silur. – Deutsche Union der Geologischen Wissenschaften, Stratigraphische Kommission, 25–43; Freiburg i. Br.

KIRCHHEIMER, F. (1957): Bericht über das Vorkommen von Uran in Baden-Württemberg. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **2**: 1–127; Freiburg i. Br.

KREUTZWALD, A. (1935): Die Blei-Zinkerzgänge am Schauinsland im südwestlichen Schwarzwald. – N. Jb. Min., Geol, & Pal., Beil.-Bd. **70**, Abt. A: 1–334, 10 Abb., 2 Taf.; Stuttgart.

KROHE, A. & EISBACHER, G. (1988): Oblique crustal detachment in the Variscan Schwarzwald, southwestern Germany. – Geol. Rdsch., **77**: 25–43; Stuttgart.

LANG, I. (1903): Beiträge zur Kenntnis der Erzlagerstätte am Schauinsland. – Mitt. Großh. Bad. Geol. Landesanstalt, **IV**: 485–524, 7 Abb.; Heidelberg.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

LINDENBECK, CH. & WIRSING, G. (1996): Hydrogeologische Untersuchungsergebnisse und 3D-Visualisierung des Grubengebäudes Schauinsland. – Arb.-H. Geologie, **1**: 60–65, 2 Abb., 1 Tab; Hannover.

LINN, T. A. & SCHMITT, R. A. (1972): Indium. – In: Handbook of geochemistry [WEDEPOHL, K. H., Hrsg.]: 49/D - 49/O; Berlin-Heidelberg-New York (Springer).

LIPPOLT, H. J. (1999): Zwischenbericht zum Schauinsland-Illit-Datierungsprojekt. – 8 S.; Heidelberg (unveröff. Bericht).

LIPPOLT, H. J. & KIRSCH, H. (1994): Isotopic investigation of post-Variscan plagioclase sericitization in the Schwarzwald gneiss massif. – Chem. Erde, **54**: 123–142, 8 Abb.; Stuttgart.

LIPPOLT, H. J, OTTO, J., KOBER, B. & PINGEL, D. (1993): Fortschritte in der Isotopen-Datierung Schwarzwälder Pechblenden. – Protokoll über das 7. Wissenschaftliche Kolloquium im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms "Intraformationale Lagerstättenbildung" (Bad Herrenalb): 75–78; Bonn.

LIPPOLT, H. J. & SIEBEL, W. (1991): Evidence for multi-stage alteration of Schwarzwald lamprophyres. – Eur. J. Mineral, **1991**: 587–601, 6 Abb.; Stuttgart.

LORENZ, S. & ZOTZ, Th.(Hrsg.) (2001): Spätmittelalter am Oberrhein. Alltag, Handwerk und Handel 1350–1525. Aufsatzband zur Ausstellung im Bad. Landesmuseum Karlsruhe 29. Sept. 2001 – 3. Feb. 2002; Stuttgart (Thorbecke).

LÜDERS, V. (1994): Geochemische Untersuchungen an Gangartmineralen aus dem Bergbaurevier Freiamt–Sexau und dem Badenweiler Quarzriff (Schwarzwald). – Abh. geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 173–190, 8 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

LÜDERS, V. & FRANZKE, H. J. (1993): Formation of hydrothermal fluorite deposits in the southern Black Forest (SW Germany). Part II: Geochemical features. – Proceed. 2nd. Biennal SGA Meeting, Granada, 9.9.–11.9.1993: 739–742; Granada.

LUDWIG, K. H. (1992): Technik im hohen Mittelalter zwischen 1000 und 1350/1400. – In: Propyläen Technikgeschichte (KÖNIG, W., Hrsg.): 11–205, 80 Abb.; Frankfurt a. M., Berlin (Propyläen).

MACHEL, H.G., KROUSE, H.R. & SASSEN, R. (1995): Products and distinguishing criteria of bacterial and thermochemical sulfate reduction. – Appl. Geochem., **10**: 373–389, 8 Abb.; Amsterdam (Elsevier Science).

MANKOPF, N.R. & LIPPOLT, H.J. (1997): ^{4}He-geochemische Belege für ein permotriassisches Alter des Roteisenerzes des Quarz-Hämatit-Baryt-Ganges westlich Obersexau im Brettental, Mittlerer Schwarzwald. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **37**: 25–48, 7 Abb., 2 Tab.; Freiburg i. Br.

MATZKE, M. (2001): Geld und Münzen. – In: S. LORENZ & Th. ZOTZ (Hrsg.): Spätmittelalter am Oberrhein. Alltag, Handwerk und Handel 1350–1525 (Bad. Landesmuseum Karlsruhe), Aufsatzband: 73–79; Stuttgart (Thorbecke).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

MAUS, H. (1963): Der Münstertäler Porphyr – Deutung als Ignimbrit. – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **118**: 85–102; Stuttgart.

MAUS, H. (1967): Ignimbrite des Schwarzwaldes. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., **1967**: 461–489; Stuttgart.

METZ, R. (1966): Geologischer Bau und Erzgänge. – In: Der Schauinsland. Der Schwarzwald in Einzeldarstellungen, **1**: 27–42, zahlr. Abb., 1 Anl.; Lahr (Schauenburg).

METZ, R., RICHTER, M. & SCHÜRENBERG, H. (1957): Die Blei-Zinkerzgänge des Schwarzwaldes. – Beih. Geol. Jb., **29**: 277 S., 113 Abb., 24 Tab., 15 Taf.; Hannover.

MEYERDIRKS, U. (2001): Bergbau in der Oberrheinebene und den angrenzenden Mittelgebirgen. – In: S. LORENZ & Th. ZOTZ (Hrsg.): Spätmittelalter am Oberrhein. Alltag, Handwerk und Handel 1350–1525 (Bad. Landesmuseum Karlsruhe), Aufsatzband: 231–241; Stuttgart (Thorbecke).

MITTELSTÄDT, R. (1987): Flüssigkeitseinschluß- und Schwefelisotopenuntersuchungen an Mineralen der Blei-Zink-Lagerstätte „Schauinsland" im südlichen Schwarzwald. – Diplomarbeit Univ. Göttingen: 119 S., zahlr. Abb., 2 Tab.; Göttingen (unveröff.).

MÖLLER, P., LÜDERS, V. & FRANZKE, H. J. (1990): Zur Genese der hydrothermalen Sulfid, Baryt- und Fluorit-Ganglagerstätten des Harzes. In: Postorogene intraformationale Bildung der hydrothermalen Pb-Zn- und F-Ba-Ganglagerstätten im Harz. – Abschlussbericht der DFG-Forschungsvorhaben Mo 443/1-1 und Mo 443/1-2: 5–18; Berlin.

MÖLLER, P., MAUS, H. & GUNDLACH, H. (1982): Die Entwicklung von Flußspatmineralisationen im Bereich des Schwarzwaldes. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, **24**: 35–70, 12 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

MOOS, A. (1925): Zur Bildung der Schwerspat- und Erzgänge längs des Rheintalgrabens. – Centralblatt Miner., Geol. & Paläont., **A 1925**: 281–286; Stuttgart.

NESSELER, E., FRÖHLER, M. & LEBEDE, S. (1993): Die Rheingrabenverwerfung im Wattkopftunnel bei Ettlingen (Nordschwarzwald). – Geol. Rdsch., **82**: 765–768, 2 Abb.; Stuttgart.

OHLER, N. (2001): Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung. – In: S. LORENZ & Th. ZOTZ (Hrsg.): Spätmittelalter am Oberrhein. Alltag, Handwerk und Handel 1350–1525 (Bad. Landesmuseum Karlsruhe), Aufsatzband: 47–53; Stuttgart (Thorbecke).

ORR, W. L. (1977): Geologic and geochemical controls on the distribution of hydrogen sulfide in natural gas. – In: R. CAMPOS & J. GONI (Hrsg.): Advances in Organic Geochemistry **1975**: 571–597, 12 Abb., 4 Tab.; Madrid (Enadisma).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

POTTER, R. W. (1977): Pressure corrections for fluid inclusion homogenization temperatures based on volumetric properties in the system NaCl–H_2O. – J. Res. U. S. Geol. Surv., **5**: 603–607; Washington, DC.

PRIESNER, P. (1982): Der Bergbau im Schauinsland von 1340–1954. – 328 S.; Freiburg i. Br.

SAWALLISCH, A.(1990): Zur Hydrogeologie und Geochemie der Grube Schauinsland bei Freiburg (Südschwarzwald). – Diplomarbeit Univ. Freiburg: 52 S., 48 Abb.; Freiburg i. Br. (unveröff.).

SCHADEK, H. & UNTERMANN, M. (1996): Gründung und Ausbau. Freiburg unter den Herzögen von Zähringen. – In: HAUMANN, H. & SCHADEK, H: Geschichte der Stadt Freiburg im Breisgau, **I**: 57–119, 32 Abb.; Stuttgart (Theiss).

SCHALTEGGER, U. (2000): U-Pb geochronology of the Southern Black Forest Batholith (Central Variscan Belt): timing of exhumation and granite emplacement. – Int. Journ. Earth Sciences/Geol. Rdsch, **88**: 814–828, 5 Abb.; Berlin (Springer).

SCHIFER, Th. (1999): Das mittelalterliche Montanrevier am Birkenberg bei St. Ulrich-Bollschweil im Südschwarzwald: erzmineralogisch-geochemische Untersuchung der Mineralisation. – Jh. Landesamt f. Geol., Rohst. u. Bergbau Baden-Württ., **38**: 79–114; Freiburg i. Br.

SCHLAGETER, A. (1970, 1971): Der mittelalterliche Bergbau im Schauinslandrevier. – Schauinsland, **88** und **89**: 125–171 und 95–131; Freiburg i. Br.

SCHLOMANN, Ch. (2000): Neues vom Schauinsland. – Der Erzgräber, **14**: 21–23; Oberwolfach.

SCHMIDT, A. (1887 und 1889): Geologie des Münsterthals im badischen Schwarzwald. – Teil 2: Porphyre, 172 S.; Teil 3: Erzgänge und Bergbau, 112 S.; Heidelberg (Winter).

SCHMIDT, K. G. (1926): Über Vererzungserscheinungen im Schauinsland (Schwarzwald). – N. Jb. Miner., Geol. & Paläont, Beilageband, **A 1926**: 163–182; Stuttgart.

SCHNEIDERHÖHN, H. (1929): Die Erzlagerstätten am Schauinsland im südwestlichen Schwarzwald. – Metall und Erz, **7**: 1–6, 3 Abb.; Halle.

SCHNEIDERHÖHN, H. (1962): Erzlagerstätten Kurzvorlesungen. – 371 S.; Stuttgart (Gustav Schneider).

SCHREINER, A. (1974): Geologische Karte von Freiburg i. Br. und Umgebung 1 50.000; Freiburg i. Br. (Geol. Landesamt, Hrsg.).

SCHÜRENBERG, H. (1950): Die Erzgänge Teufelsgrund und Schindler im Untermünstertal und ihr quantitativer Mineralgehalt. – N. Jb. Min., Abh., **81**: 123–182, 17 Abb.; Stuttgart.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

SCHÜRENBERG, H. (1989): Erz- und Mineralgänge im Belchengebiet. – In: Der Belchen. Geschichtlich-naturkundliche Monographie des schönsten Schwarzwaldberges. – Natur- und Landschaftsschutzgebiete Bad.-Württ., **13**: 327–367, 20 Abb., 3 Tab.; Karlsruhe.

SCHUMACHER, F. (1911): Die Erzlagerstätten am Schauinsland im südwestlichen Schwarzwalde. Eine Untersuchung auf dem Gebiete der chemischen Geologie. – Z. prakt. Geol., **19**: 1–50, 23 Abb., zahlr. Tab.; Berlin.

SCHWARZ-SCHAMPERA, U. & HERZIG, P. (1999): Indium: Geology, mineralogy, and economics. – Z. angew. Geol., **45**: 164–169, 8 Abb.; Hannover.

SEGEV, A., HALICZ, L. LANG, B. & STEINITZ, G. (1991): K-Ar dating of manganese minerals from the Eisenbach region, Black Forest, southwest Germany. – Schweiz. min. petrol. Mitt., **71**: 101–114, 9 Abb., 3. Tab.; Zürich.

SEHLKE, K. (1956): Gesteine und Blei-Zink-führende Flußspatgänge zwischen Feldberg und Belchen im Hochschwarzwald. Teil IV. Erzführende Flußspatgänge der Umgebung von Todtnau (Südschwarzwald). – N. Jb. Mineral., Abh., **89**: 258–280, 8 Abb., 1 Kt., 3 Beil.; Stuttgart.

SERRANO, C. (1994): Der Bergbau Lateinamerikas im 16. Jahrhundert und die Entwicklung der Montanwissenschaften. – Europ. Metallkonferenz EMC 1994, Vortragsband Bergbaureviere im 16. Jahrhundert: 177–186, 2 Abb.; Clausthal-Zellerfeld (GDMB).

SIMON, K. & HOEFS, J. (1987): Effects of meteoric water interaction on Hercynian granites from the Südschwarzwald, southwest Germany. – Chem. Geol, **61**: 253–261; New York.

SLOTTA, R. (1983): Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland, **4/II**: 1138–1352; Bochum (Deutsches Bergbau-Museum).

STEIBER, B. (1986): Der Schauinsland. Geschichte – Geologie – Mineralien: 48 S., zahlr. Abb.; Haltern (Bode).

STEIBER, B. (1999): Das Schauinsland-Bergwerk und die Forschergruppe Steiber. – Freiburger Almanach. Illustriertes Jahrbuch **2000**: 107–118, 6 Abb.; Freiburg i. Br. (Poppen & Ortmann).

STEUER, H. (1999): Bergbau im frühen und hohen Mittelalter im Südschwarzwald. – Archäol. Informationen aus Baden-Württ. (Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald), **41**: 49–58; Stuttgart. – [Landesdenkmalamt Baden-Württ., Hrsg.].

STEUER, H. & ZETTLER, A. (1996): Der Bergbau und seine Bedeutung für Freiburg. – In: HAUMANN, H. & SCHADEK, H: Geschichte der Stadt Freiburg im Breisgau, **I**: 320–342, 5 Abb.; Stuttgart (Theiss).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

STOBER, I. & BUCHER, K. (1999): Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region. – Applied Geochem., **14**: 237–254, 14 Abb., 2 Tab.; Amsterdam.

STOBER, I., RICHTER, A., BROST, E. & BUCHER, K. (1999): The Ohlsbach Plume – Discharge of deep saline water from the crystalline basement of the Black Forest, Germany. – Hydrogeology J., **1999, 7**: 273–283, 10 Abb.; Heidelberg-Berlin.

SUHLING, L. (1983): Aufschließen, Gewinnen, Fördern – Geschichte des Bergbaus. – 246 S., 84 Abb.; Reinbek (Rowohlt).

TODT, W.A. & BÜSCH, W. (1981): U-Pb investigation on zircons from prevariscan gneisses. A study from the Schwarzwald, West Germany. – Geochim. Cosmochim. Acta, 45: 1789–1801; London.

VERNIER, J. W. Freiherr von (1781): Von dem Bergwesen in Vorder-Oesterreich überhaubt und Beschreybung der vorderoesterreichischen Bergwerker in Sonderheit. Manuskript, Schwaz (Generallandesarchiv Karlsruhe).

WEBER, A. (1997): Geochemische Untersuchungen zur Genese der Blei-Zink-Lagerstätte am Schauinsland im Schwarzwald. – Diplomarbeit, 82 S., 24 Abb., 15 Tab.; Tübingen (Univ. Tübingen).

WECHT, E. H. P. (1955): Gesteine und Blei-Zink-führende Flußspatgänge zwischen Feldberg und Belchen im Hochschwarzwald. Teil III. Gesteine und Erzgänge am Silberberg im Feldberggebiet (Hochschwarzwald). – N. Jb. Mineral., Abh., **88**: 273–308; Stuttgart.

WEISGERBER, G. (1999): Zur Bedeutung des mittelalterlichen Schwarzwälder Silberbergbaus im überregionalen Vergleich. – Archäol. Informationen aus Baden-Württ.. (Früher Bergbau im südlichen Schwarzwald), **41**: 131–139; Stuttgart. – [Landesdenkmalamt Baden-Württ., Hrsg.].

WERNER, W. (1990): Examples of structural control of hydrothermal mineralization: Fault zones in epicontinental sedimentary basins – A review. – Geol. Rdsch., **79**: 279–290, 4 Abb.; Stuttgart.

WERNER, W. (1994): Ergebnisse geologischer und historischer Forschung im alten Bergbaurevier Freiamt–Sexau (Mittlerer Schwarzwald) – ein Überblick. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 9–26, 7 Abb.; Freiburg i. Br.

WERNER, W. (1996): Zur Bedeutung strukturgeologischer Untersuchungen in der Lagerstättenforschung und der angewandten Rohstoffgeologie. – Z. geol. Wiss., **24**: 761–775, 7 Abb.; Berlin.

WERNER, W. & FRANZKE, H. J. (1993): Tektonik und Mineralisation der Erzgänge am Schwarzwaldrand im Bergbaurevier Freiamt-Sexau. – Protokoll über das 7. Wiss.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Kolloquium "intraformationale Lagerstättenbildung", 19.–21.9.93, Bad Herrenalb: 51–52, 1 Abb.; Aachen–Bonn (DFG).

WERNER, W. & FRANZKE, H. J. (1994): Zur Tektonik und Mineralisation der Hydrothermalgänge am Schwarzwaldrand im Bergbaurevier Freiamt-Sexau (Mittlerer Schwarzwald). – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 27–98, 22 Abb., 1 Tab., 3 Taf; Freiburg i. Br.

WERNER, W. & FRANZKE, H. J. (2001): Postvariszische bis neogene Bruchtektonik und Mineralisation im südlichen Zentralschwarzwald. – Z. dt. geol. Ges.**153**/2–4: 405–437, 12 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.

WERNER, W., FRANZKE, H. J. & LÜDERS, V. (2000): Zur Genese der Zink-Blei-Lagerstätte Schauinsland bei Freiburg im Breisgau. – Erzmetall **53**: 273–285, 10 Abb., 1 Tab.; Clausthal-Zellerfeld (GDMB).

WERNER, W. & KALTWASSER, S. (1994): Zur Geschichte des Bergbaureviers Freiamt-Sexau (Mittlerer Schwarzwald). – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 221–280, 19 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

WERNER, W. & MATZ, D. (1994): Beschreibung der Blei-Silbergrube "Caroline im Eberbächle" und ihrer Bergbaugeschichte. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ., **14**: 295–342, 17 Abb.; Freiburg i. Br.

WERNER, W., SCHLAEGEL-BLAUT, P. & RIEKEN, R. (1990): Verbreitung und Ausbildung von Wolframmineralisationen im Kristallin des Schwarzwaldes. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **32**: 17–61, 15 Abb.; Freiburg i. Br.

WERNER, W. & WALTHER, H. W. (1995): Metallogenesis. – In: DALLMEYER, R.D., FRANKE, W. & WEBER, K. (Hrsg.): Pre-Permian Geology of Central and Eastern Europe: 87–95, 4 Abb.; Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (Springer).

WERNICKE, R.S. & LIPPOLT, H.J. (1994): Dating of vein specularite using internal (U+Th)/4He isochrons. – Geophys. Research Letters, **21**: 345–347; Washington.

WIMMENAUER, W. (1985): Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. – 382 S., 297 Abb., 106 Tab.; Stuttgart (Enke)

WIMMENAUER, W. & HÜTTNER, R. (1967): Erläuterungen zu Blatt 8013 Freiburg. – Geol. Kt. Baden-Württ. 1 25.000; Stuttgart (Geologisches Landesamt, Hrsg.).

WITTENBRINK, J. (1999): Petrographische und tektonische Kartierung des Zentralschwarzwälder Gneiskomplexes im Bereich der Blei-Zink-Lagerstätte Schauinsland bei Freiburg i. Br./Schwarzwald (Diplomkartierung). Bruchtektonik und hydrothermale Gangmineralisation in der Blei-Zink-Lagerstätte Schauinsland bei Freiburg i. Br./Schwarzwald (Diplomarbeit). – Diplomarbeit Techn. Univ. Clausthal: 166 S., 70 Abb., 8 Anl.; Clausthal-Zellerfeld (unveröff.).

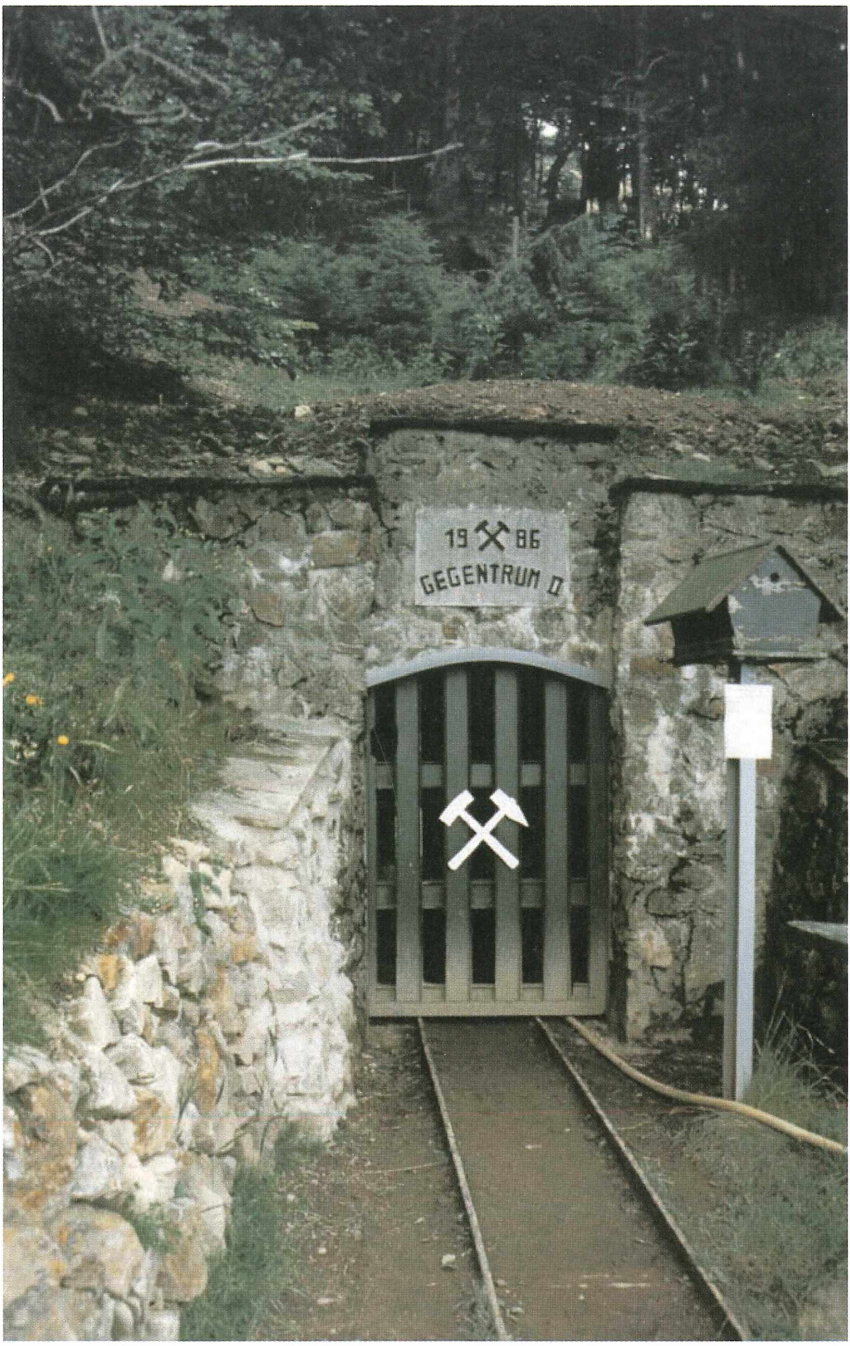
© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 1: Ausschnitt aus dem um 1330 entstandenen Tulenhauptfenster im Freiburger Münster, das Bergleute der am Sattel oberhalb von Hofsgrund gelegenen Grube Dieselmuot bei Abbau und Förderung zeigt. Adelheid und Franz Tulenhaupt gehörten zu den Aktionären der vermutlich recht ergiebigen Grube (Aufnahme D. Lange).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

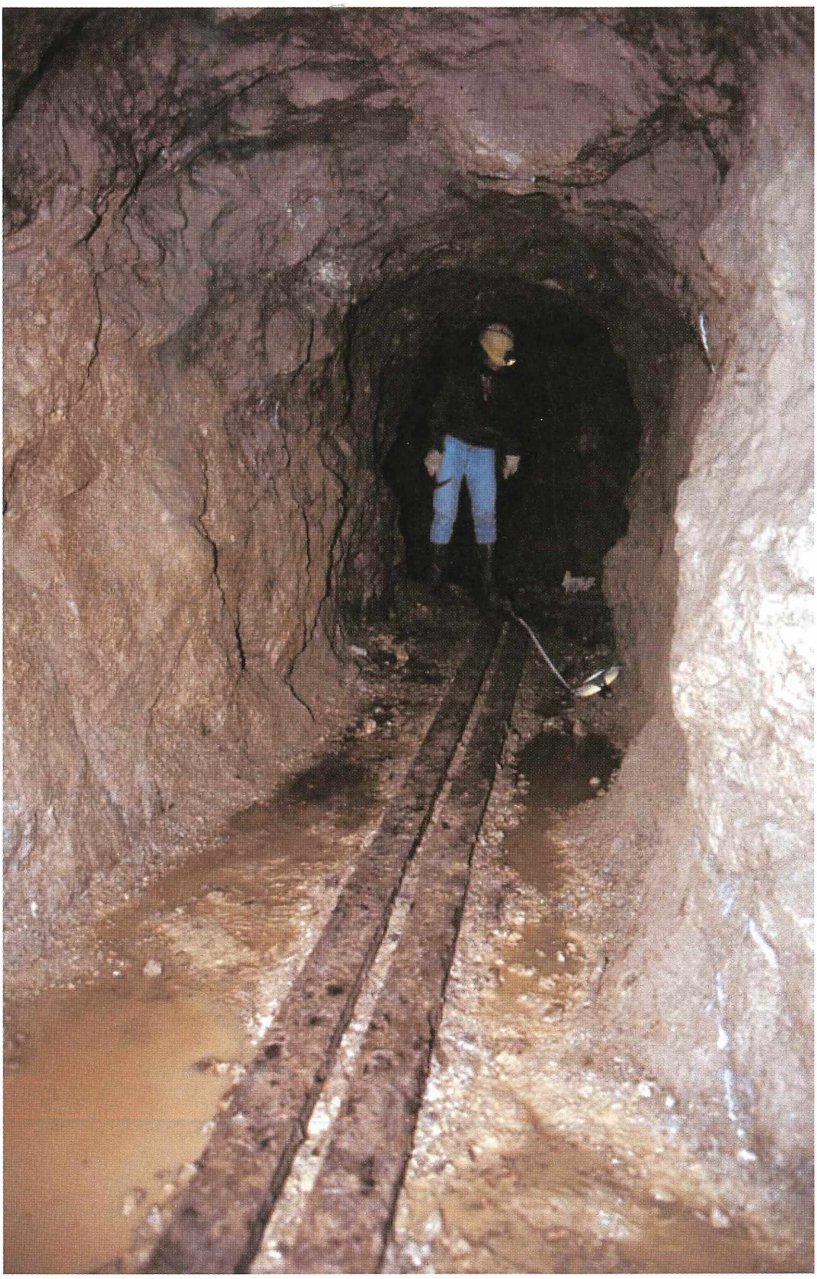
Tafel 2: Schachthalde auf dem Barbaragang unmittelbar westlich der Straße vom Schauinsland Richtung Todtnau. Die Halde liegt nur wenige Hundert Meter von der Grube Dieselmuot entfernt (etwa im Wäldchen links von der Bildmitte gelegen). Blick nach Süd (Aufnahme W. Werner, Sommer 2000).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at



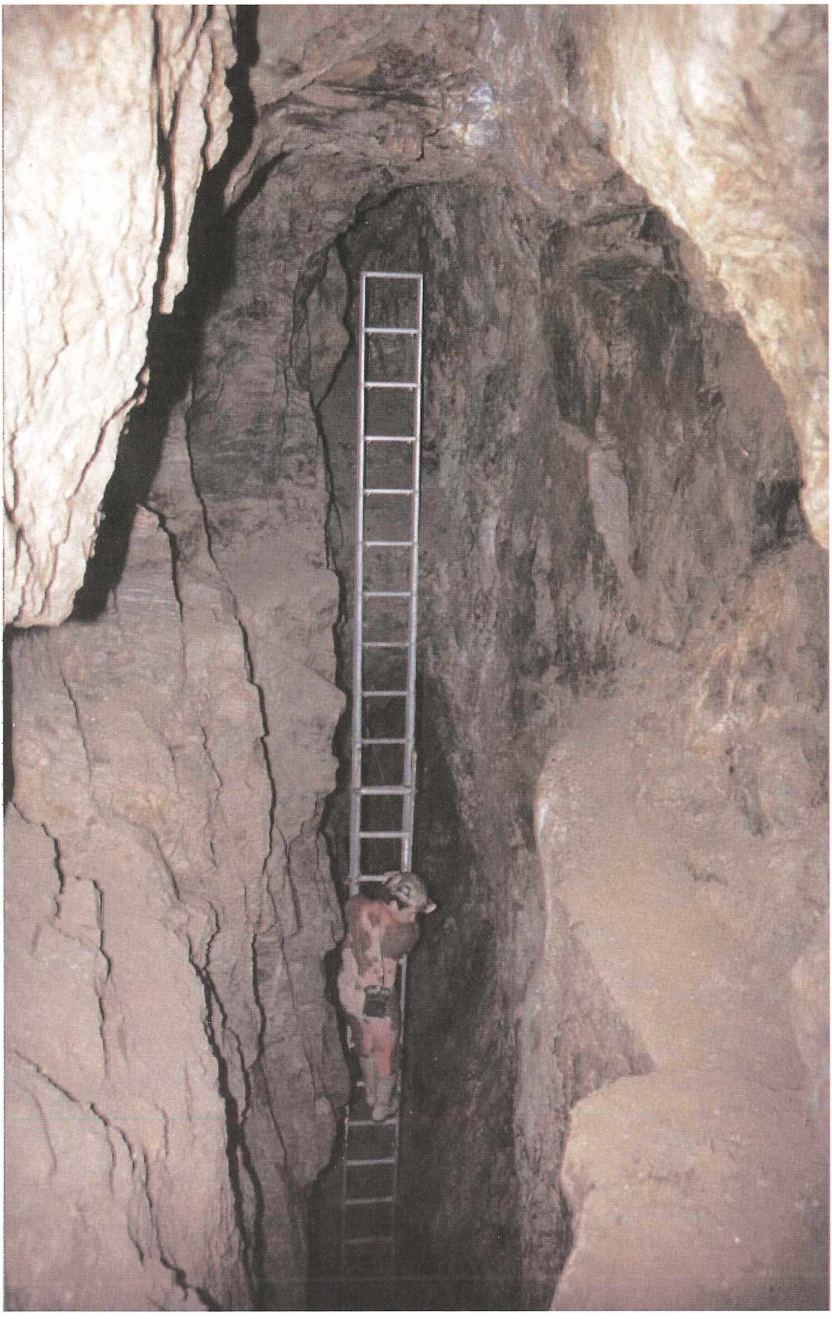
Tafel 3: Im Jahr 1986 erstelltes Portal des Gegentrum II-Stollen auf der Südseite des Schauinslands, heute Zugang zum „Museums-Bergwerk Schauinsland" (Aufnahme W. Werner, 1997; vgl. hierzu Aufnahmen in: STEIBER 1986: 42–43).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at



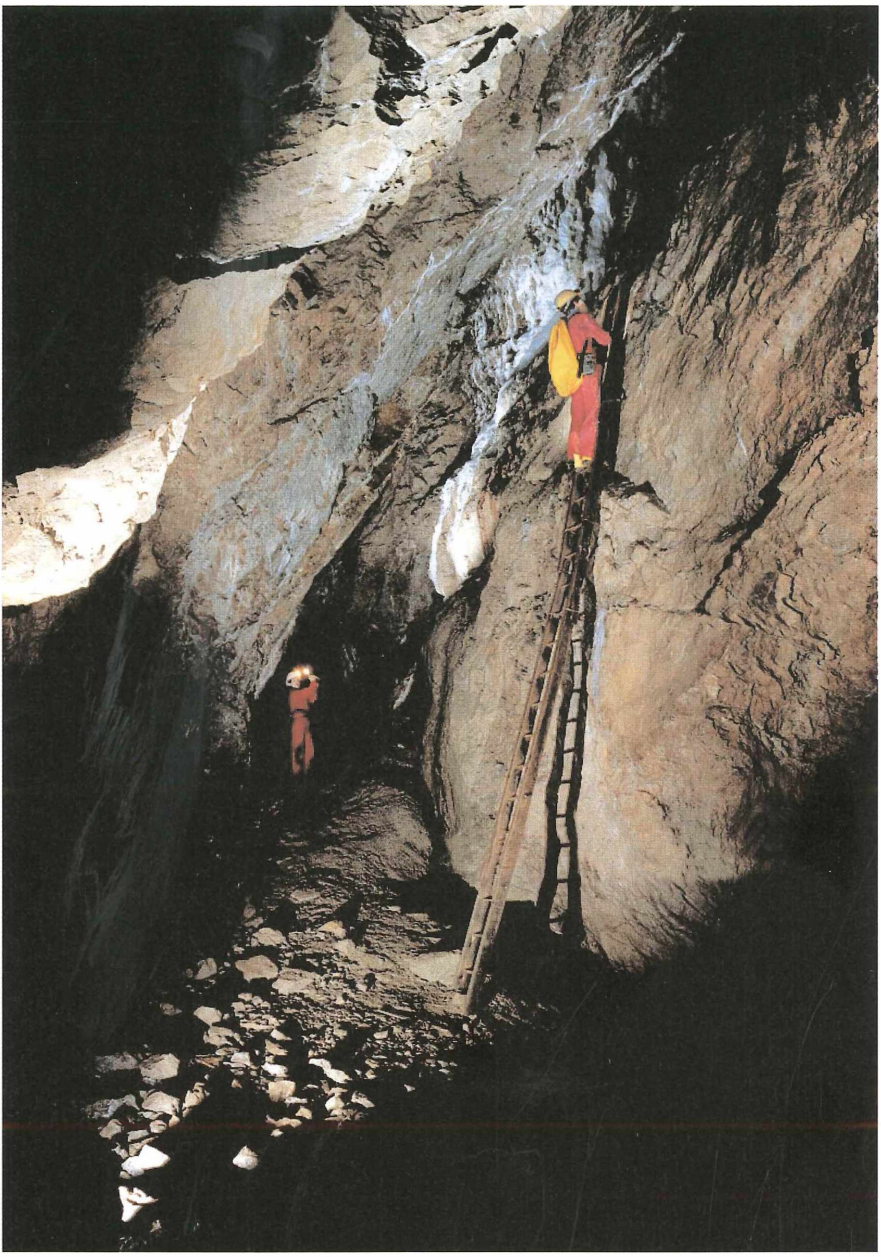
Tafel 4: Gegentrum IV-Stollen am Fallerhäuschen, ca. 150 m SE vom Gegentrum II-Stollen. Im 130 m langen Stollen, der vermutlich im 19. Jahrhundert bis zum Gang VI aufgefahren wurde, sind die zur Förderung mit dem Hunt (hölzerner Förderwagen) benötigten Holzschienen noch gut erhalten (Aufnahme W. Werner, November 2001).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at



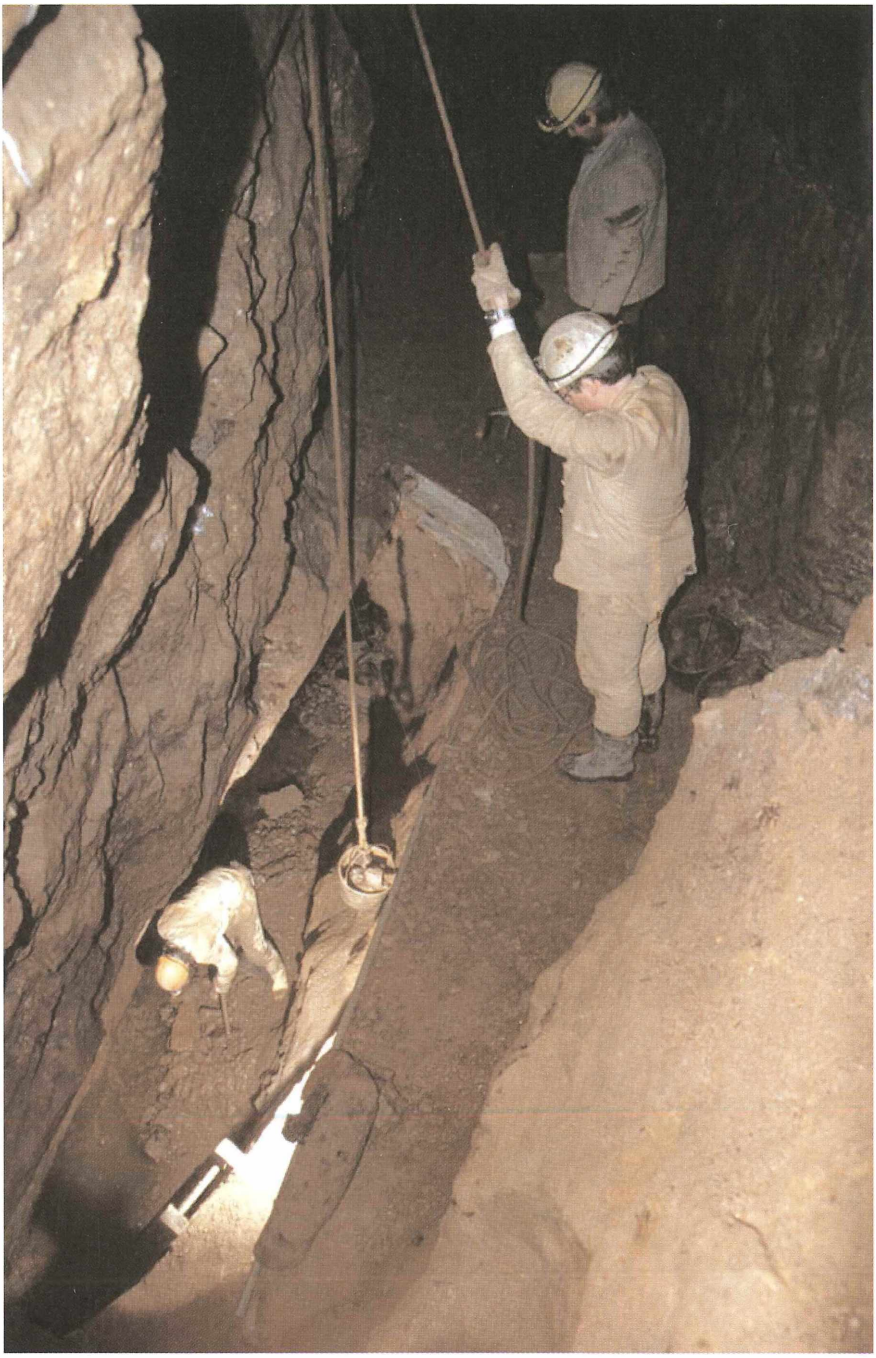
Tafel 5: Gesenk in der im Jahr 2000 kurzzeitig zugänglichen Grube Farnacker II am Stohren. Hier wurden vor allem im 16./17. Jh., z. T. auch noch im 18. Jh. Bleiglanz und das aus ihm entstandene Grünbleierz (Pyromorphit) abgebaut (Aufnahme W. Werner, April 2000).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at



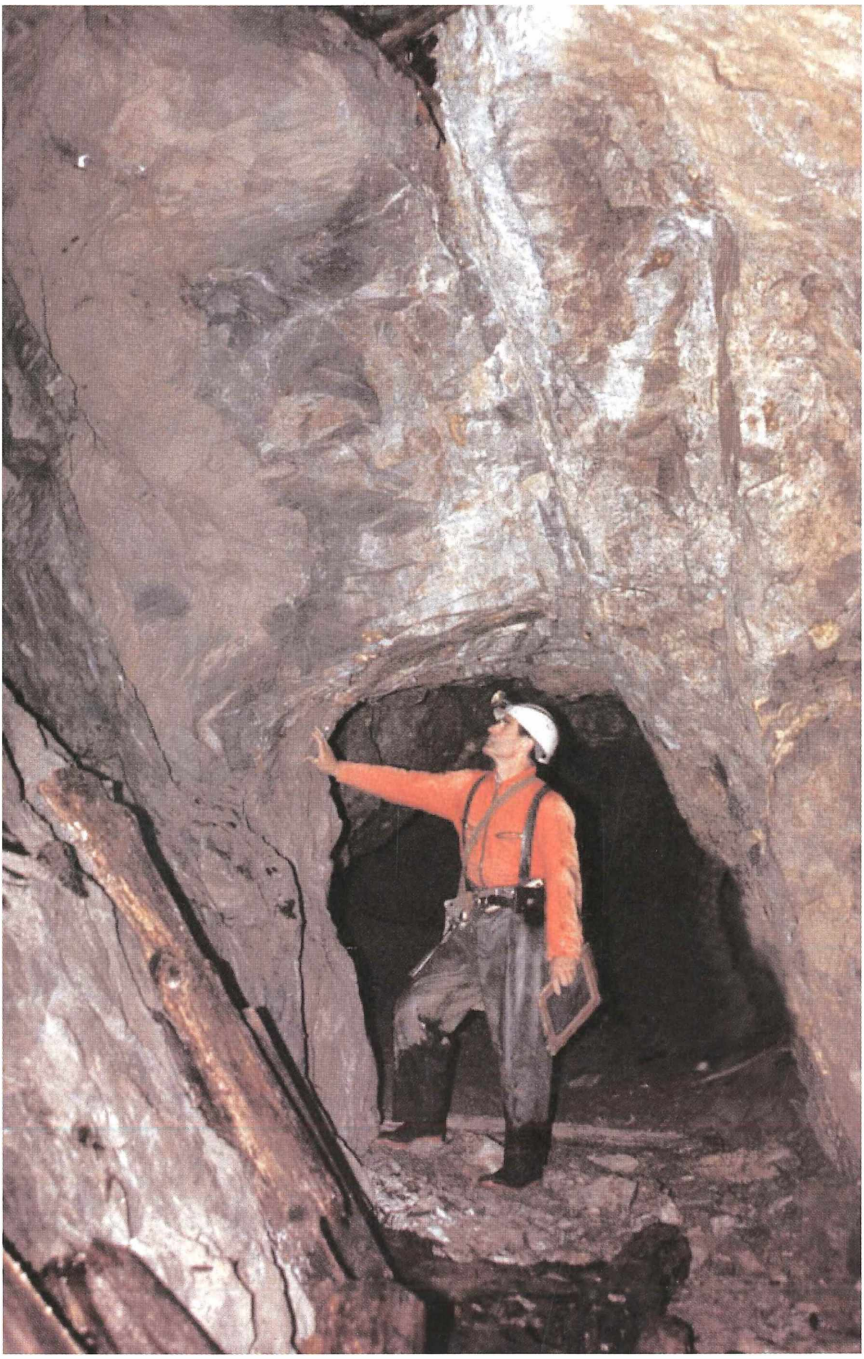
Tafel 6: Großer Abbau aus den 1950er Jahren im Gang III, ca. 10 m über Kapplersohle (Aufnahme D. Lange, 1985).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at



Tafel 7: Leerräumen alter Abbaue im Bereich des Gegentrum II-Stollens (Aufnahme D. Lange, 1991).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at



Tafel 8: Geologische Kartierarbeiten in der Roggenbachgangzone auf der Leopoldstollensohle. Der Gang fällt hier mit 80° nach Westen ein, vgl. auch Tafel 11 (Aufnahme W. Werner, 1998).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 9: Tonmineralreiche Störung, eine typische „Ruschel" – im Bereich des Meterstabs mit intensiver Illit- und Kaolinitneubildung. Die dunklen Partien sind Pyrit- und Markasit-führend. Firstenbild, Leopoldsohle 50 m SW Roggenbachschacht, Ausschnitt 100 x 60 cm (Aufnahme W. Werner, 1998).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 10: Links: Biotitreiche Paragneise im oberen Stollen der Grube Farnacker II, die im Abstand von Dezimetern von NNE-streichenden offenen Klüften mit Pyromorphit durchschlagen werden. Rechts: Pyromorphit aus der Grube Farnacker II (längster Kristall ca. 0,5 mm) (Aufnahmen W. Werner, 1998–2000).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 11: Von links nach rechts: Paragneise, in Gangnähe stark verkieselt (hellbraun), daneben 60° nach Westen einfallender brekziöser Zinkblendegang mit zahlreichen Nebengesteinsbruchstücken, Mächtigkeit ca. 30 cm; unregelmäßiger weißer Schwerspatgang mit Zinkblendebruchstücken; rechts daneben verkieselter brekziöser Gneis. Roggenbachgangzone, Leopoldstollen (Aufnahme W. Werner, 1998).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 12: Gebänderter, teils brekziöser Zinkblende-Kalkspat-Quarz-Gang; auf schwarzbraune Zinkblende I folgt Kalkspat mit Zinkblendebrekzien, der von Zinkblende II überkrustet wird. In der Gangmitte milchigweißer Quarz mit Drusen. Diagonaltrum 0, Kapplersohle, Gangbreite ca. 25–30 cm, Firstenaufnahme (Aufnahme W. Wimmenauer, 1955).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 13: Intensive Verdrängung von braunschwarzer, eisenreicher Zinkblende (links gebändert, rechts in großen Bruchstücken) durch weißen Schwerspat und jüngeren Milchquarz. Das aus dem Zersatz von Zinkblende freiwerdende Eisen färbt den Ganganschnitt intensiv rostbraun. Gang VI, SW-Teil, 4. Feldstrecke über Kapplersohle, Firstenschrägaufnahme, Bildbreite 0,5 m (Aufnahme G. Borg, 2001).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 14: Brekzie aus verkieseltem Gneis, umkrustet von Zinkblende Ia in grobspätigem Kalkspat I. Gang II, 2. Feldstrecke über Leopoldsohle, Bildbreite ca. 2 m (Aufnahme H. Schürenberg, ca. 1954).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 15: Band von Zinkblende Ib, Kalkspat I, überkrustet von Zinkblende Ib und II, in Gangmitte Quarz IIc. Gang II, 1. Feldstrecke über Leopoldsohle, Bildbreite ca. 1,2 m (Aufnahme H. Schürenberg, ca. 1954).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Tafel 16: Stufe mit idiomorpher Zinkblende, z. T. überwachsen von Kalkspat und Schwerspat. Fundort: vermutlich Gang II, Bereich Kapplersohle. Durchmesser des größten Kristalls 5,5 cm (Sammlung G. Olschewski, Kenzingen; Aufnahme W. Werner, 2001).