

3

Lagerstätten im Schwarzwald



*„Denn die Natur tut
– wie wir behaupten –
nichts planlos.“*

Aristoteles

3.1 Geologische Übersicht ⁴

Als Schwarzwald wird geographisch das rund 7800 Quadratkilometer große Mittelgebirge bezeichnet, das sich vom Hochrhein zwischen Basel und Bad Säckingen bis Durlach und Pforzheim über eine Länge von rund 160 km erstreckt (Abb. 2 bis 4). Auf seinen Höhen verläuft die europäische Hauptwasserscheide. Im Südteil zwischen Müllheim und der Wutach bei Stühlingen ist der Schwarzwald rund 60 km breit, wohingegen er im Nordteil nur mehr rund 25 km Breite aufweist. Während der morphologische Anstieg von der Oberrheinebene zum Schwarzwald mit Höhenunterschieden bis über 1000 m sehr markant ist, verläuft der landschaftliche Übergang im Osten des Mittelgebirges recht sanft. Allmählich gehen die bewaldeten Höhen des Schwarzwalds in das östliche, von Gesteinen des Muschelkalks, Keupers und Unterjuras aufgebaute, landwirtschaftlich intensiv genutzte Vorland über.

In älteren Beschreibungen wird dieses Mittelgebirge noch in einen „Oberschwarzwald“ und einen „Unterschwarzwald“ gegliedert, wobei das Kinzigtal als Grenze galt (z. B. Meyers Großes Konversations-Lexikon, 1907). Heute unterscheidet man zwischen dem Süd-, Zentral- und Nord-schwarzwald bzw. zwischen dem Südlichen, Mittleren und Nördlichen Schwarzwald. Für die Geografen bildet das Dreisamtal bei Freiburg die Grenze zwischen dem Süd- und Zentral-schwarzwald, wohingegen die Geologen eine bedeutende, durch devonisch-karbonische Sedimentgesteine gekennzeichnete Suturzone im Gebirge, die Badenweiler-Lenzkirch-Zone (BLZ), als Trennlinie ansehen. Das Kinzigtal bzw. die Linie zwischen Achern und Freudenstadt gilt bei Beiden als Grenze zwischen dem mittleren und dem nördlichen Teil. Dieses Waldgebirge wird aufgrund der raschen Hebung der Erdkruste am Oberrhein, dem so genannten Rheinischen Schild, von zahlreichen, oft tiefen Tälern durchzogen. Je nach Beschaffenheit der Gesteine entstanden breite Täler, umgeben von Plateaubergen, oder tief eingeschnittene, enge Täler zwischen zahlreichen rundlichen Bergrücken (Abb. 10 bis 12).

► **Abb. 10**
Landschaft im
Nordschwarzwald.

Luftaufnahme der Stadt Neuenbürg mit Enzthal und dem auf einem markanten Umlaufberg gelegenen Schloss. Diese natürliche Festung war schon zu keltischer und römischer Zeit besiedelt. Im davor liegenden Waldgebiet (im Bild rechts unten) fand intensiver Eisenerzbergbau und umfangreiche Verhüttung statt – vermutlich der Hauptgrund für die Errichtung des keltischen Fürstensitzes.



⁴ Wichtige Fachbegriffe siehe Glossar (Anhang).



▲ **Abb. 11**
Landschaft im Zentralschwarzwald.

Blick vom Bergbauggebiet an der Grube Sophia auf das ehemalige Benediktinerkloster im Witticher Tal.



▲ **Abb. 12**
Landschaft im Südschwarzwald.

Bei Hög-Ehrensberg, westlich von Todtmoos-Mättle.

Der Schwarzwald wird von Gesteinen aufgebaut, die den drei großen Gesteinsgruppen angehören: magmatische und metamorphe Gesteine sowie Sedimentgesteine (Abb. 13 bis 18). Er besteht zuunterst aus den kristallinen Gesteinen des Grundgebirges. Diese werden von den vorwiegend roten Sandsteinen des Perms und der Trias – meist generell als „Buntsandstein“ bezeichnet – überlagert. Während die Gneise und

Granite in vielen Kilometern Tiefe entstanden sind, wurden die Sedimentgesteine in Oberflächennähe gebildet. Die Grenze zwischen dem Schwarzwälder Grundgebirge und den auflagernden Sedimentgesteinen ist vor allem in Steinbrüchen und Baugruben gut zu studieren (Abb. 19 und 20).

Die magmatischen Gesteine Granit und Porphy (Abb. 15 und 16) sind vor allem im Nördlichen und Südlichen Schwarzwald verbreitet, die als Para- und Orthogneise, Meta- oder Diatexite und Amphibolite (s. Glossar) bezeichneten metamorphen Gesteine bauen den Mittleren und große Teil des Südlichen Schwarzwalds auf. Sandsteine mit einigen Tonsteineinschlüssen (Buntsandstein) treten entlang der Ostschulter und in den Lahr-Emmendinger Vorbergen auf. In tektonischen Schollen oder Aufrichtungs-zonen am Westrand des Schwarzwalds sind Ton- und Mergelsteine sowie Kalksteine des Juras verbreitet (Abb. 3).

Als Gneis wird ein metamorphes Gestein bezeichnet, das vor allem aus den Mineralen Feldspat und Quarz besteht und das regellos verteilte oder auch parallel zu den feinen Foliationsflächen orientierte Glimmer oder Amphibole aufweist. Man unterscheidet generell zwischen den Paragneisen, früher als „Renchgneise“ bezeichnet, und den Orthogneisen, früher „Schapbachgneise“; die letztgenannten gingen aus magmatischen Gesteinen (Granite, Granodiorite usw.) hervor. In den Paragneisen wurden Mikrofossilien gefunden, die belegen, dass die Ausgangsgesteine auf Ablagerungen in Meeresbecken zurückgehen. Bei den Paragneisen handelt es sich also um umgewandelte marine Sedimente. An vielen Stellen zeigen die Gneise granitähnliche Aufschmelzungsbereiche; hier ist das Gestein in Anwesenheit von Gasen und Flüssigkeiten, die das Gebirge durchwanderten, lokal breiartig aufgeschmolzen und fast an Ort und Stelle wieder erstarrt (Abb. 13).

Wie zuvor erwähnt, gehen die als Paragneise bezeichneten, fein gebänderten, oft intensiv verfalteten und meist grauen Gesteine auf die Um-

wandlung (Metamorphose) von Sedimentgesteinen zurück; auch vulkanische Ablagerungen können eingeschaltet sein. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung kann man davon ausgehen, dass es sich bei den Ausgangssedimenten zumeist um Grauwacken – eine Art grobe und unreine Sande – gehandelt hat. Durch Funde von fossilem Nanoplankton (Acritarchen und Chitinozoen) im Kristallin des Zentral- und des Südschwarzwalds sind jungproterozoische bis ordovizische, aber auch jüngere paläozoische Alter für die Ausgangssedimente der Gneise nachgewiesen worden (HANEL et al. 1996, HANN & SAWATZKI 1998, KALT et al. 2000).

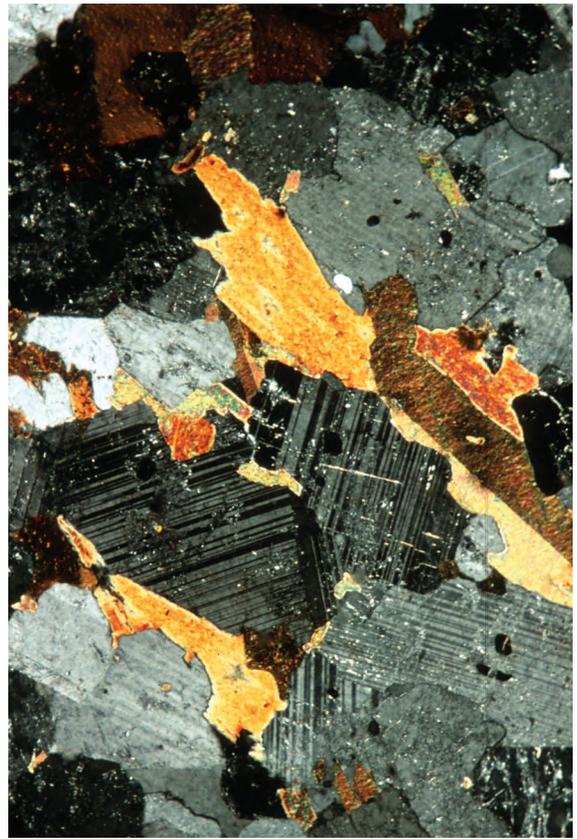


▲ **Abb. 13 (links)**
Grundgebirgsgestein Paragneis.

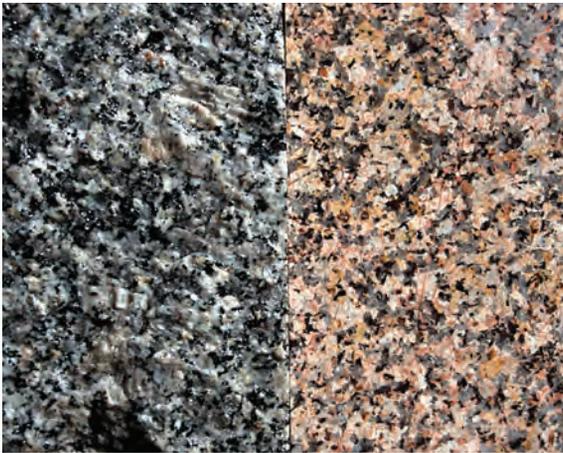
Verfalteter, biotitreicher Paragneis mit granitartigen Aufschmelzungsbereichen, typisches Gestein des Feldberg-Schauinsland-Massivs. Lange Bildseite entspricht 10 cm in der Natur.

▼ **Abb. 14**
Mikroskopisches Bild eines Paragneises.

Im polarisierten Licht erscheinen die Biotitplättchen gelblich und rötlich-braun, die Feldspatkristalle grau gestreift oder fast schwarz (löchrig), die wenigen Quarzkörner hellgrau-wolkig. Vor allem die Feldspäte und Glimmer enthalten Spuren von Kupfer, Blei, Zink, Silber usw., aber auch von anderen Elementen wie Fluor und Barium, welche durch die Hydrothermen gelöst werden können; sie sind die Stofflieferanten für die Erz- und Mineralgänge. Paragneis aus dem Bergbauggebiet Hauserbachtal bei Hausach-Dorf. Lange Bildseite entspricht 2,3 mm in der Natur.



Durch die radiometrischen Datierungen von Zirkonen wurde erkannt, dass die abgetragenen Gebirge, aus denen sich die Ausgangsgesteine herleiten lassen, bis zu fünf magmatische Ereignisse im Zeitraum zwischen 2,9 Mrd. und 390 Mio. Jahren erlebt haben (KALT et al. 2000). Die in den Grundgebirgsgesteinen enthaltenen Metalle, die später durch heiße Wässer aus den Gesteinen gelöst und auf Erz- und Mineralgängen angereichert wurden (Kap. 3.4), stammen also aus verschiedenen, längst vergangenen Gebirgen.



▲ **Abb. 15**
Grundgebirgsgestein Granit in zwei Varietäten.

Grau: Oberkirch-Granit, Kappelrodeck-Waldulm (TK 25: 7414). Rötlich: Triberg-Granit, Schramberg (TK 25: 7716). Lange Bildseite entspricht 15 cm in der Natur.

Ihre heutige Erscheinungsform haben die Gneise durch eine Gesteinsumwandlung (Metamorphose) erhalten, die sich im Zentralschwarzwald im Zeitraum zwischen 340 und 325 Mio. Jahren, also im späten Unterkarbon, abspielte und bei der die Ausgangsgesteine Temperaturen von rund 750 °C und Drucken von 4000–4500 bar ausgesetzt waren (WERCHAU et al. 1989, KALT et al. 2000). Diese sog. Hochtemperatur-Metamorphose hat die Spuren älterer Metamorphosen zwar weitgehend verwischt, jedoch lassen sich an Zirkonen in Gneisen und Amphiboliten der



▲ **Abb. 16**
Grundgebirgsgestein Granitporphyr.

Roter Porphyr eines gangförmigen Vorkommens im Malsburggranit, Tegernau (TK 25: 8212). Lange Bildseite entspricht 11 cm in der Natur.

Zentralen Schwarzwälder Gneismasse auch Alter von ca. 490–480 Mio. Jahren nachweisen. Diese in das Ordovizium fallende druckbetonte Metamorphose geht vermutlich auf ein Kollisionereignis großer tektonischer Einheiten – vielleicht von Mikrokontinenten – zurück, die karbonische Niedrigdruck-Hochtemperatur-Metamorphose hingegen auf eine Aufheizung der Oberkruste in Verbindung mit Granitintrusionen. Eine zeitliche Übersicht über die Gesteine des Schwarzwälder Grundgebirges gibt das Diagramm der Abb. 21.

Hochmetamorphe Gesteine wie Granulite und Eklogite, die in der Unterkruste, also in ca. 20–50 km Tiefe entstanden sind, treten besonders im Kristallin des Mittleren Schwarzwaldes auf. Sie sind in Gesteine eingeschaltet, die in höheren Krustenniveaus gebildet wurden. Dies zeigt an, dass durch intensive Einengungstektonik bei der Kollision einstiger (Mikro)Kontinente Gesteinseinheiten wie Späne ineinander geschuppt wurden. Auch ein tektonischer Deckenbau, wie man ihn aus den Alpen kennt, ist für den Mittleren und Südlichen Schwarzwald zwischenzeitlich nachgewiesen (z. B. HANN & SAWATZKI 1998, KESSLER et al. 1998). Aus der Unterkruste, evtl. sogar aus der Grenze zum



▲ **Abb. 17**
Verkieselter Porphyrtuff.

Hydrothermale Verkieselungen von vulkanischen Ablagerungen und von Störungen im Grundgebirge sind im Rotliegenden weit verbreitet und stehen mit der starken vulkanischen Aktivität dieser Zeit in Verbindung. Im Schwarzwald haben sie u. a. zur Bildung hämatitführender Quarzgänge und achatartiger Bändergefüge in sauren Vulkaniten geführt. Das Bild zeigt einen verkieselten und hämatitgebänderten Porphyrtuff des Mittelrotliegenden vom Heuberg südlich von Schuttertal-Schweighausen. Lange Bildseite entspricht 12 cm in der Natur.

Erdmantel, sind auch dunkle Gesteine, sog. Ultrabasite, in die Gneise eingeschuppt worden. Die an diese Gesteine bisweilen gebundenen nickelhaltigen Sulfidvererzungen wurden im Südschwarzwald bei Horbach und Todtmoos abgebaut (Kap. 5.13).

Bei der tektonischen Einengung und dem dadurch ausgelösten Transport von Störungsblöcken sind auch Mylonite („Mahlsteine“) entstanden. Dabei handelt es sich um in großer Tiefe entstandene Scherzongesteine, die im Gegensatz zu den bruchhaft (spröd) deformierten Gesteinen, den sog. Kataklasiten, der Verwitterung großen Widerstand entgegen setzen. Sie zeigen einen straffen Lagenbau, und die Minerale sind gegenüber Gesteinen außerhalb der Scherzone deutlich feinkörniger. Die größten Mylonitzonen weisen im Schwarzwald vor allem NE–SW-Streichen auf und werden auf die

variszische Einengungstektonik zurückgeführt. Beide tektonischen Gesteine, also die Mylonite und die oft lockeren, mürbe zerfallenden, lettigen Kataklasite (Abb. 22) markieren große Störungszonen im Gebirge, die ganz wesentlich die spätere Bildung der Erz- und Mineralgänge beeinflusst haben.

Große Teile des kristallinen Grundgebirges des Schwarzwalds bestehen aus mittel- bis grobkörnigen, grauen oder hellroten Graniten (Abb. 15). Geochronologische Altersdatierungen an den granitischen Gesteinen des Südschwarzwalds erbrachten, dass die großen Plutone wie Bärhalde-, Albtal-, St. Blasien- und Schlächtenhaus-Granit vor 334 bis 332 Mio. Jahren entstanden sind (SCHALTEGGER 2000). Im nördlichen Zentral-schwarzwald und im Nordschwarzwald treten ebenfalls große Plutone auf (Bühlertal-, Forbach-, Raumünzach-, Seebach-, Oberkirch-Granit usw.), wobei sich ältere Biotit- und etwas jüngere Zweiglimmer-Granite mit Biotit und Muskovit unterscheiden lassen. Sie konnten auf 325–315 Mio. Jahre datiert werden (HESS et al. 2000). Der Granit von Baden-Baden ist wieder etwas älter; er dürfte vor 330–325 Mio. Jahren intrudiert sein (WICKERT et al. 1990). Sie alle sind Ausdruck einer großen Krustenaufheizung während des Karbons.

Die nachfolgende Dehnung der Kruste im Oberkarbon und Unterperm (Rotliegend) führte zur Bildung von tektonischen Gräben und Horsten. Ein saurer, explosiver Vulkanismus begleitete diese Phase; dabei entstanden die Schlotfüllungen und mächtigen deckenartigen Ablagerungen aus rhyolitischen Laven und Pyroklastiten, die als „Quarzporphyre“ bezeichnet werden. In dieser Zeit entstanden auch die sehr zahlreichen Quarzgänge und die intensive Verkieselung der Gneise und Granite entlang von Störungszonen. Die Silifizierung schuf günstige Voraussetzungen für die spätere Bildung der Erz- und Mineralgänge (FAISI & GEHLEN 1957, WERNER & FRANZKE 1994). Ausdruck dieser Vorgänge sind die im Kristallin häufigen, hämatitreichen Quarzgänge, die Hornsteine und die postvulkanisch, oft achatartig verkieselten Pyroklastika (Abb. 17).



◀ **Abb. 18**
Buntsandstein.

Typisches Aufschlussbild aus dem Buntsandstein des Nordschwarzwalds. Der rot und gelblich gebänderte Sandstein zeigt charakteristische Schrägschichtungsgefüge. Die braune Sprenkelung in der Bildmitte geht auf die Verwitterung manganhaltiger Karbonatkonkretionen zurück. Lokalität: Hella-Glück-Stollen bei Neubulach. Kurze Bildseite entspricht 1,5 m in der Natur.

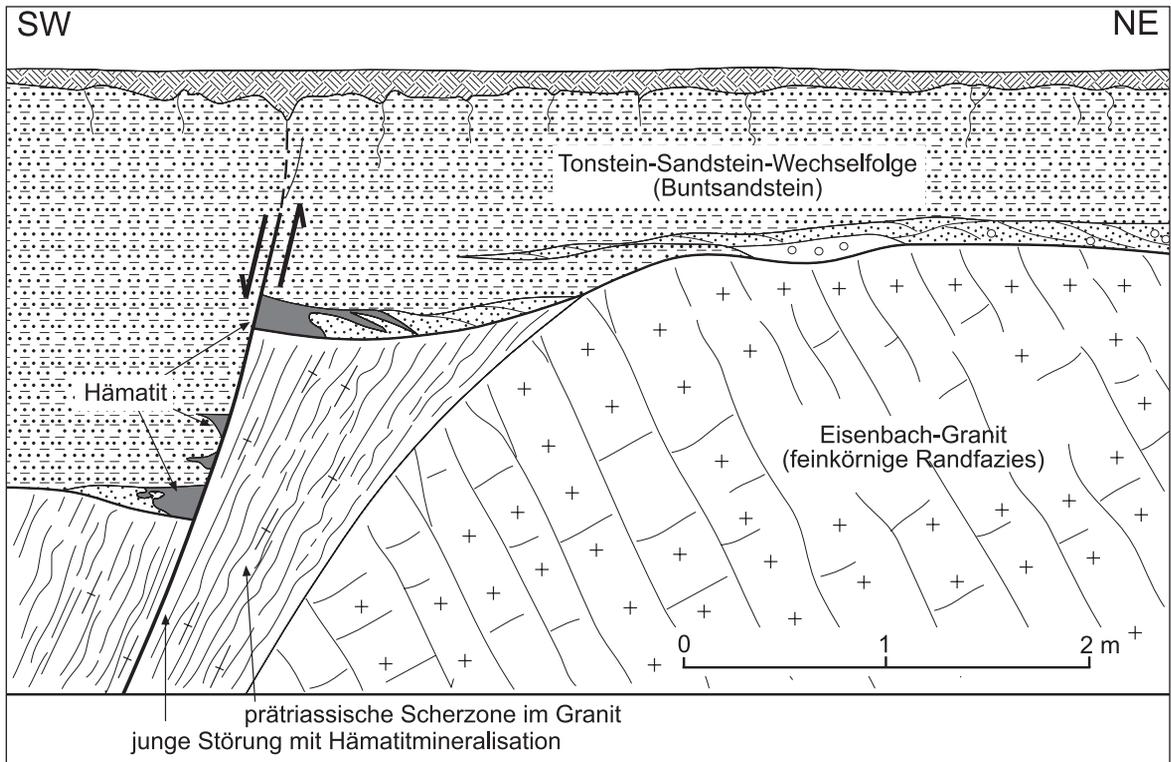
▶ **Abb. 19**
Grenzfläche zwischen Grundgebirge und auflagerndem Buntsandstein.

Über dem aufgelockerten, eng geklüfteten Eisenbach-Granit (Bildungsalter 332 Mio. Jahre) wurden zur Zeit des Mittleren Buntsandsteins, d. h. vor ca. 249–246 Mio. Jahren, Sande und rote Tone abgelagert. Die gut sichtbare Grenzfläche stellt also die alte Landoberfläche eines von starker Abtragung betroffenen Gebirges dar. Lokalität: Baugrube im Bruckerwald nordwestlich von Friedenweiler (s. Abb. 20), TK 25: 8015 Titisee-Neustadt. Kurze Bildseite entspricht 1 m in der Natur.



Nach dem Quarzporphyrvulkanismus setzte eine lange Phase allmählicher Einsenkung ein, wodurch das ehemalige Abtragungsgebiet wieder zum Sedimentationsgebiet wurde. Granite und Gneise wurden vom Abtragungsschutt, vor allem Sanden, überdeckt. In Steinbrüchen und

Baugruben kann man diese alte Landoberfläche sehen (Abb. 19 und 20). Bis zum hohen Oberjura vor rund 140 Mio. Jahren legte sich eine 1,2 bis 2 km mächtige Sedimentdecke über das Kristallin. Wie eingangs erwähnt, werden Höhenrücken, die aus Sandsteinen des Perms



▲ **Abb. 20**

Beispiel für die Entstehung einer Erzmineralisation.

In der unmittelbaren Nähe des in Abb. 19 dargestellten Aufschlusses tritt eine oxidische Eisen-Manganmineralisation auf, die an eine reaktivierte Störung gebunden ist. Die entlang der Störungsfläche aufsteigenden Lösungen führten zum Absatz von Eisen- und Manganmineralen in grobkörnigen, porösen Sandsteinen. Weitere Erläuterung s. Text (Kap. 3.4, S. 80 f.).

(Tigersandstein-Formation) und des Buntsandsteins (Abb. 18) aufgebaut werden, noch zum Schwarzwald gerechnet. Diese Gesteine sind zwischen 255 und 243 Mio. Jahre alt.

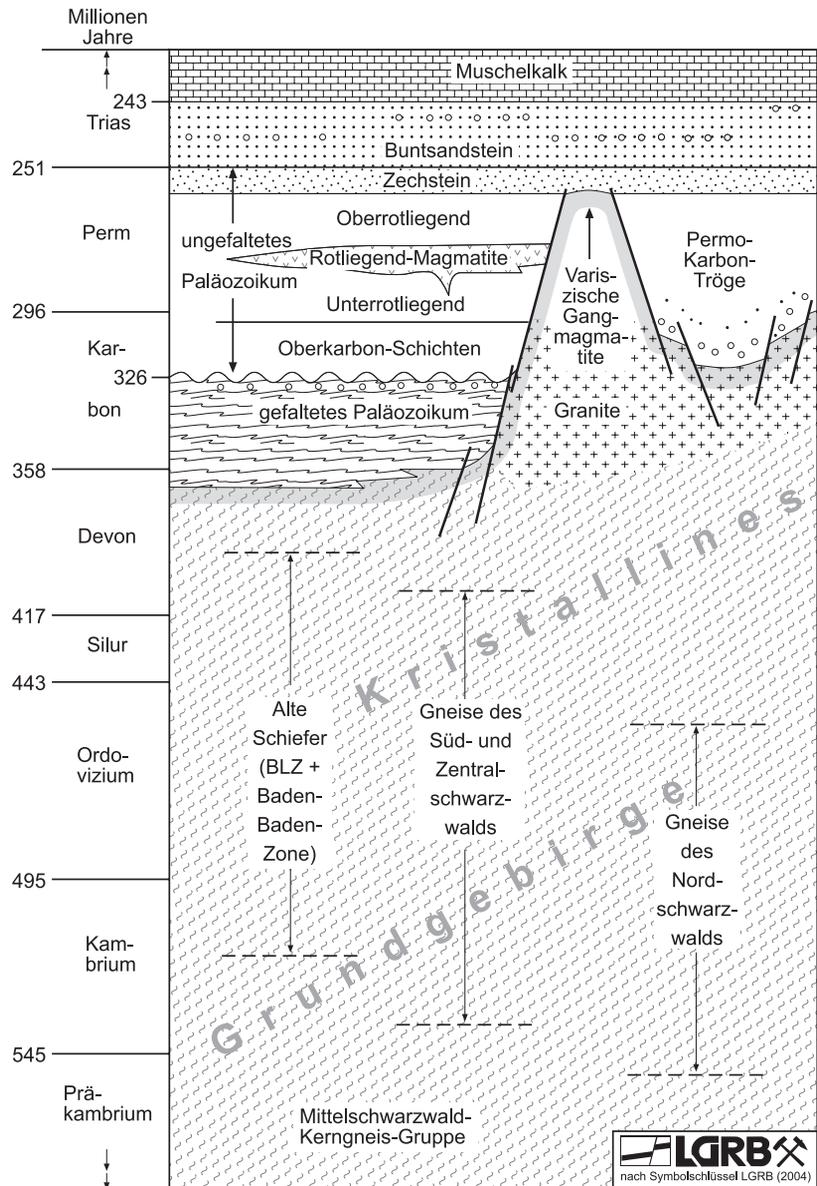
Mit dem Ende der Jurazeit trat eine erneute tektonische Wende ein. Aus dem Sedimentationsgebiet, in dem zuletzt unter subtropischen Bedingungen große Riffkomplexe in einem Flachmeer entstanden waren, wurde wieder Abtragsgebiet – die Kruste begann sich zu heben. Als Ursache hierfür wird die einsetzende Gebirgsbildung im Alpenbogen vermutet, die auf die Kollision von afrikanischer und europäischer Kontinentalplatte zurückgeht. Diese tek-

tonische Phase kommt im Grundgebirge des Schwarzwalds im Aufleben von Störungen und in hydrothermalen Mineralisationen zum Ausdruck. Vor allem Alterationen mit Neubildung von Illit und Kaolinit sind an der Wende Jura/Kreide entstanden.

Von besonderer Bedeutung für die Bildung der Hydrothermalgänge im Schwarzwälder Grund- und Deckgebirge sind die geologischen Vorgänge, die zur Einsenkung eines breiten Krustenstreifens zwischen Vogesen und Pfälzerwald auf der einen Seite und dem Schwarzwald, dem Kraichau und dem Odenwald auf der anderen Seite geführt haben. Diese als Ober-

► **Abb. 21**
Gesteine des Schwarzwalds
und ihre erdgeschichtliche
Stellung.

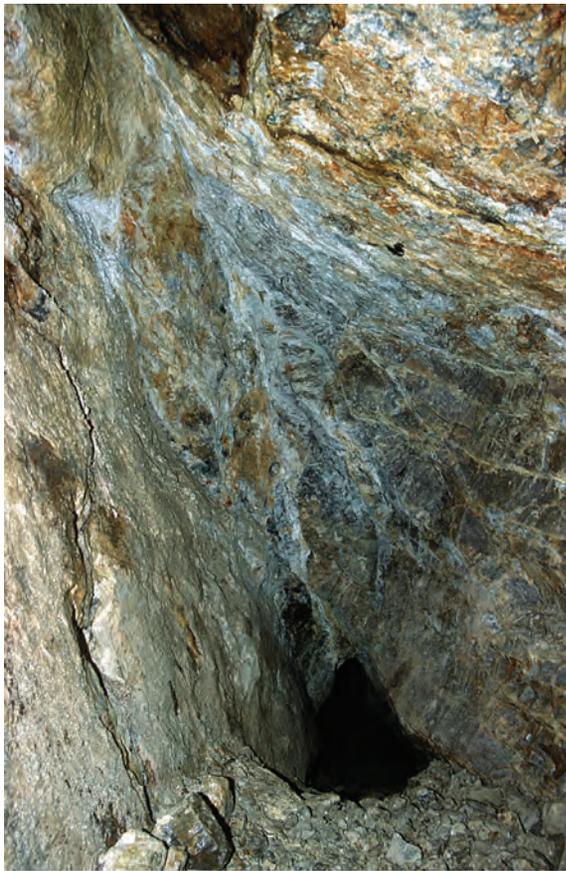
Das schematische erdgeschichtliche Säulenprofil gibt einen Überblick über die Entstehungszeit der wichtigsten Gesteinsgruppen. Die Gneise wurden vor dem Karbon gebildet, die Granitplutone sind im Zuge von gebirgsbildenden tektonischen Prozessen während des Karbons in die Gneise eingedrungen, gangartige Intrusionen ereigneten sich noch bis in das höhere Perm. An anderen Stellen des Gebirges kam es zur Ablagerung von Sedimenten. Die älteren Sedimente wurden durch diese gebirgsbildenden Prozesse verfaltet. Die Sedimente, die jünger sind als 326 Mio. Jahre, erfuhren hingegen keine derartige tektonische Deformation mehr. Sande und Konglomerate wurden ab dem Zechstein abgelagert. Mit der Vertiefung des Ablagerungsraumes und dem Eindringen des Meeres vor ca. 243 Mio. Jahren wurden die ersten geschlossenen Kalkablagerungen gebildet (Muschelkalk). [BLZ = Badenweiler-Lenzkirch-Zone]



rheingraben bekannte, noch heute aktive tektonische Struktur (Abb. 1) ist Teil einer intrakontinentalen Bruchzone, die vom Mittelmeer bis in die Nordsee reicht. Zwischen dem Graben und dem Schwarzwaldkristallin sind auf den tektonischen Blöcken der Vorbergzone Sedimentgesteine von Trias und Jura erhalten (Lahr-Emmendinger Vorbergzone, Schönberg südlich von Freiburg, Vorberge im Markgräflerland).

Die meisten Erz- und Mineralgänge des Süd- und des Zentralschwarzwalds sind parallel zur Randverwerfung des Oberrheingrabens orientiert (z. B. Abb. 55 und 56), was genetische Beziehungen zur Entwicklung des Grabens nahelegt. Der Oberrheingraben baut auf einer alten tektonischen Anlage im Grundgebirge auf. Bereits ILLIES (1962, 1965) vermutete, dass eine von Blattverschiebungen durchsetzte Scherzone

den Vorläufer des Oberrheingrabens darstellte. Die parallel zum Graben verlaufenden Blattverschiebungen mit den zugehörigen Fiederbrüchen wurden seit ihrer variszischen Anlage bei allen größeren tektonischen Ereignissen, vor allem im Perm, im Zeitraum Unterjura bis Kreide und im Tertiär reaktiviert. Weitere Vorläufer des Oberrheingrabens stellen die vulkanischen Spalten dar, die an der Wende Unter-/Oberkreide aufrissen, wobei die Spaltensysteme bis zu 30 km weit in das Schwarzwaldkristallin hineinreichen.



Pliozän hatte die mit der Heraushebung verbundene rasche Erosion des Deckgebirges auf dem Schwarzwaldkristallin bereits den Oberen Muschelkalk erreicht. Aus dem Vergleich der Mächtigkeiten der tertiären Sedimente im Grabeninneren und am Grabenrand lassen sich für das Unter- und Mitteloligozän Absenkungsraten im Graben von 0,1–0,2 mm/a rekonstruieren (SCHREINER 1991).

Wie die tektonische Analyse der Brüche am Schwarzwaldrand und im Oberrheingraben zeigt, herrschen seit dem Jungtertiär die gleichen durch den Druck des Alpenbogens auf sein nördliches Vorland ausgelösten Spannungsbedingungen, die zu sinistralen schrägabschiebenden Bewegungen auf NNE–SSW gerichteten Störungen und zu dextralen Bewegungen auf NW–SE orientierten Störungen führen. Die rezenten Erdbeben in Südwestdeutschland belegen, dass diese tektonischen Prozesse unvermindert anhalten (WERNER & FRANZKE 2001).

◀ Abb. 22

Tektonische Störungen I: Ruschelzone.

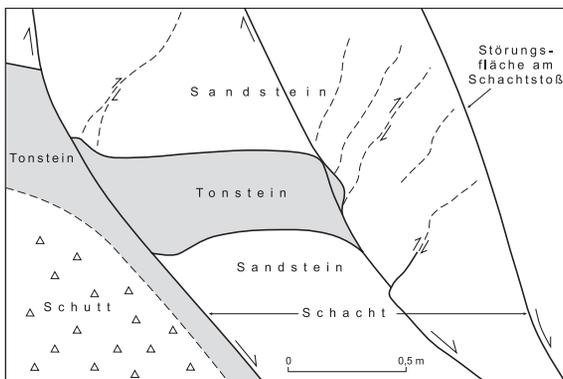
Scherzone im Grundgebirge mit in das Nebengestein ablaufenden Bewegungsbahnen, auf denen es zur Neubildung von Tonmineralen (vor allem Illit und Kaolinit) gekommen ist. Diese grauen Letten sind aufgrund ihres plastischen Deformationsverhaltens und ihrer abdichtenden Wirkung von großer Bedeutung für die Strukturierung der Hydrothermalgänge: an diesen sog. Ruscheln dünnen die Mineralgänge aus oder enden ganz.

Lokalität: Grube St. Barbara am Kinzigsteg bei Haslach i. K., Ortsteil Schnellingen, TK 25: 7714 Haslach im Kinzigtal. Die kurze Bildseite entspricht etwa 2,5 m in der Natur.

Die Hebung der westlichen und östlichen Grabenschultern und die damit verbundene Einsenkung des Grabens setzte nach schwachen Vorläufern im Miozän im höheren Obereozän in vollem Ausmaß ein (HÜTTNER 1991). Im

Die komplexe erdgeschichtliche Entwicklung des Schwarzwalds und ihre Bedeutung für die Entstehung von Erzanreicherungen kann beispielhaft an einem Aufschluss im Revier Eisenbach studiert werden (Kap. 3.2).

Nach Art der tektonischen Bewegungen im Grund- und Deckgebirge lassen sich zwei Haupttypen von Störungen unterscheiden, die beide häufig auf den Ganglagerstätten des Schwarzwalds auftreten: Abschiebungen und Blattverschiebungen. Abb. 23 und 24 zeigen zwei typische Beispiele. Auf- und Überschiebungen, die z. B. im Rheinischen Schiefergebirge eine große Rolle für die Entstehung bedeutender Ganglagerstätten im Emsland, Siegerland, Hunsrück und bei Ramsbeck im Ostsauerland spielten, besitzen im Schwarzwald keine unmittelbare Bedeutung für die Lagerstättenbildung.



▲ **Abb. 23**
Tektonische Störungen II: Abschiebung.

An den gezeigten Abschiebungen wurde eine Sandstein-Tonstein-Wechselfolge treppenförmig versetzt. Diese Störungszone wurde im Bergbau zur Anlage eines Schachtes genutzt. Infolge der Abschiebung der hangenden Scholle entstanden auch gegenseitig einfallende, kleine Aufschubungsflächen (s. Strichzeichnung). Lokalität: Oberer Stollen im Ziegelbachtal bei Neubulach, TK 25: 7318 Wildberg. Lange Bildseite entspricht 2,4 m in der Natur.



▲ **Abb. 24**
Tektonische Störungen III: Blattverschiebung.

Rutschfläche in einer Störungszone mit fast horizontalen Gleitstreifen, den so genannten Harnischen, freigelegt durch den Bergbau. Blattverschiebungen zeichnen sich durch ein Überwiegen der horizontalen Bewegungskomponente der Störungsblöcke aus. Lokalität: Grube Frischglück bei Neuenbürg, TK 25: 7117 Birkenfeld. Stollenbreite ca. 0,9 m.

3.2 Die Erz- und Mineralvorkommen des Schwarzwalds (Übersicht)

Im Grundgebirge des Schwarzwalds und in den überlagernden Sandsteinen von Perm und Trias (Abb. 21) tritt eine sehr große Zahl von Erz- und Mineralgängen auf. Rechnet man die kleineren Gänge und die ohne nennenswerte Erzführung hinzu, so dürfte es sich um mehrere Tausend handeln; rund 400–500 Hydrothermalgänge haben bislang zumindest zeitweise wirtschaftliche Bedeutung erlangt. Selten sind hingegen die an das Kristallin gebundenen magmatischen oder metamorphen Erzanreicherungen (HENGLEIN 1924, METZ et al. 1957, METZ 1977, 1980, WIMMENAUER 1980, 1983, MAUS & RENK 1981, BLIEDTNER & MARTIN 1986, MAUS 1990, WERNER & FRANZKE 1994, WERNER et al. 2002, MARKL 2004).

Nicht zu den gangförmigen, hydrothermalen Mineralisationen gehören die primär magmatischen, dann metamorph und tektonisch überprägten, nickelhaltigen Eisensulfidvorkommen von Horbach und Todtmoos (Kap. 5.13). Zinn- und wolframführende, pegmatitische bis pneumatolytische Mineralisationen, die an die Dachregion von Granitmassiven, an Granitgänge oder an

die Granite durchschwärmende Quarz-Turmalingänge gebunden sind, wurden bei Nordrach, Triberg und in der Badenweiler-Lenzkirch-Zone sowie im Südschwarzwald nachgewiesen (SAWATZKI 1968, WERNER et al. 1990, MARKL 1997). Erwähnenswert sind auch die kleinräumigen Uranvererzungen von Müllenbach bei Baden-Baden, die in geringmächtigen Kohleflözen des Karbons auftreten (MAUS 1977c, BROCKAMP et al. 1987). Formationswässer, welche die Gesteine durchwanderten, haben hier ihren Urangehalt vor allem an die organische Substanz der Flöze abgegeben.

Insbesondere in den oberflächennahen Bereichen der Erzgänge haben sich im Einflussbereich sauerstoffreicher Niederschlagswässer Verwitterungslagerstätten gebildet, in denen sich vor allem Eisen und Mangan, bisweilen auch Kupfer und Blei angereichert haben (Abb. 44, 49 und 50, Kap. 5.1 und 5.2). Solche Lagerstätten waren vor allem in der Frühzeit des Bergbaus von Bedeutung, also in einer Zeit, in welcher der Untertagebergbau noch die Ausnahme war. Teilweise wurden sie aber auch im 19. Jahrhun-

▼ **Abb. 25**
Hydrothermalgänge I:
Quarzmineralisierte brekziöse Scherzone.



Der nur 8 cm breite Quarzgang mit Pyrit und Markasit (an anderer Stelle dieses Vorkommens auch mit Zinkblende, Bleiglanz und Antimonerzen) zeigt gut ausgebildete Scherbänder, die auf eine tektonische Bewegung während der Quarzabscheidung hinweisen. Der gebleichte und verkieselte Gneis ist mehrfach zerbrochen und wieder mineralisiert worden. Von der Gangspalte drangen eisenhaltige Lösungen in den Gneis ein (oben im Bild). Lokalität: Steinbruch Artenberg bei Steinach, TK 25: 7714 Haslach im Kinzigtal.



▲ **Abb. 26**
Hydrothermalgänge II:
Grobe Gangbrekzie mit Hornsteinquarz.

Grauschwarzer Hornsteinquarz eingebettet in jüngeren Milchquarz, Ausschnitt aus dem bis 35 m breiten Gang des Badenweiler-Quarzriffs.

Lokalität: Feuersetzabbau im Bereich der Grube Hausbaden, TK 25: 8212 Malsburg-Marzell.

dert in großem Umfang abgebaut, wie das Beispiel des Neuenbürger Eisenerzreviers eindrucksvoll belegt.

Von herausragender Bedeutung für den Schwarzwälder Bergbau sind die hydrothermalen Erz- und Mineralgänge. Diese sind das Produkt von aufgeheizten salz- und metallhaltigen Lösungen, welche auch als Hydrothermen bezeichnet werden, weshalb auch von „Hydrothermalgängen“ gesprochen wird. Die Hydrothermalgänge sind nicht zu verwechseln mit den magmatischen Gesteinsgängen, wie z. B. Granit-

porphyr-, Aplit- oder Lamprophyrgänge. Heiße Lösungen durchwanderten während der Phasen tektonischer Unruhe die obere Erdkruste und setzten ihren Lösungsinhalt in geöffneten Segmenten (Spalten) von tektonischen Störungen ab, wie nachfolgend näher erläutert wird.

Die meisten Gänge wurden im Zusammenhang mit der Suche nach und dem Bergbau auf Silber-, Blei- oder Eisenerze sowie nach Schwer- und Flussspat aufgeschlossen. In einzelnen Revieren spielten auch Kupfer-, Kobalt- und Antimonerze eine wirtschaftliche Rolle. Baryt und Fluorit stellen die neben Quarz häufigsten Gangarten der Schwarzwälder Hydrothermalgänge dar. Die Karbonate Calcit, Dolomit und Siderit sind vor allem zu Beginn und am Ende der Mineralisationsphasen abgeschieden worden.



▲ **Abb. 27**
Hydrothermalgänge III:
Grobe Gneisbrekzie mit Zinkblende und Quarz.

Hydrothermal gebleichte und verquarzte Gneisbruchstücke liegen in einer Gangmasse aus drusenreichem Milchquarz, Zinkblende und Bleiglanz vor. Derartige Brekzien, die ihre Entstehung sowohl tektonischem als auch hydraulischem Druck („hydraulic fracturing“) auf den Gangstörungen verdanken, bilden oftmals das Nebengestein der jüngeren, gebänderten Flussspat-Schwerspatgänge. Lokalität: Grube Teufelsgrund, Schindlergang im Friedrichstollen, TK 25: 8112 Staufen i. Br. Die lange Bildseite entspricht 0,7 m in der Natur.



▲ **Abb. 28**
Hydrothermalgänge IV:
Brekzie aus Sedimentgestein im Schwerspatgang.

Nach tektonischer Zerbrechung des rötlich-braunen Sandsteins erfolgte die Bildung des Schwerspatganges, der auch Eisenspat enthielt. Eindringende Niederschlagswasser führten zur Verwitterung der Eisenkarbonate. Zur Brauneisenerzbildung (schwarz-braun) kam es vor allem im porösen Sandstein, untergeordnet auch zwischen den Schwerspattafeln. Lokalität: Grube Frischglück bei Neuenbürg, TK 25: 7117 Birkenfeld. Kurze Bildseite entspricht ca. 1,1 m in der Natur.

Wie Fluorit sind die Karbonate häufig während späterer hydrothormaler Phasen wieder gelöst worden, weshalb sie weit weniger verbreitet sind als Quarz (und junger Baryt). Die Metallerze treten mit den genannten Gangartmineralen Quarz, Schwerspat, Flussspat, Do-

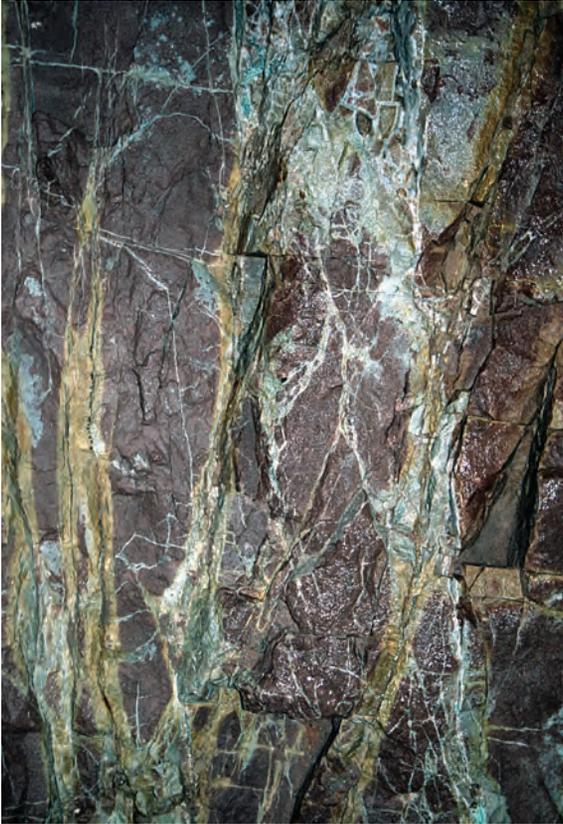


▲ **Abb. 29**
Hydrothermalgänge V:
Hydrothermalgang im Grundgebirge (Fiederstrukturen).

Durch sinistrale Scherung (Blattverschiebung, vgl. Abb. 24) wurden fiederförmig angeordnete Spalten im Gneis geöffnet, die mit Calcit ausgefüllt wurden (Calcit erscheint hier wegen der Reaktion mit manganhaltigen Grubenwässern an seiner Oberfläche schwarz). Bei weiterer Gangöffnung wurde weißer Schwerspat abgesetzt. Lokalität: Grube Wenzel im Frohnbachtal bei Oberwolfach, Tiefe Strecke, TK 25: 7615 Wolfach. Kurze Bildseite entspricht ca. 0,5 m in der Natur. Firstenbild!

lomit, Calcit und Siderit auf. Darin liegen sie in regelloser, gebänderter oder nesterartiger Anreicherung vor (Abb. 25 bis 33).

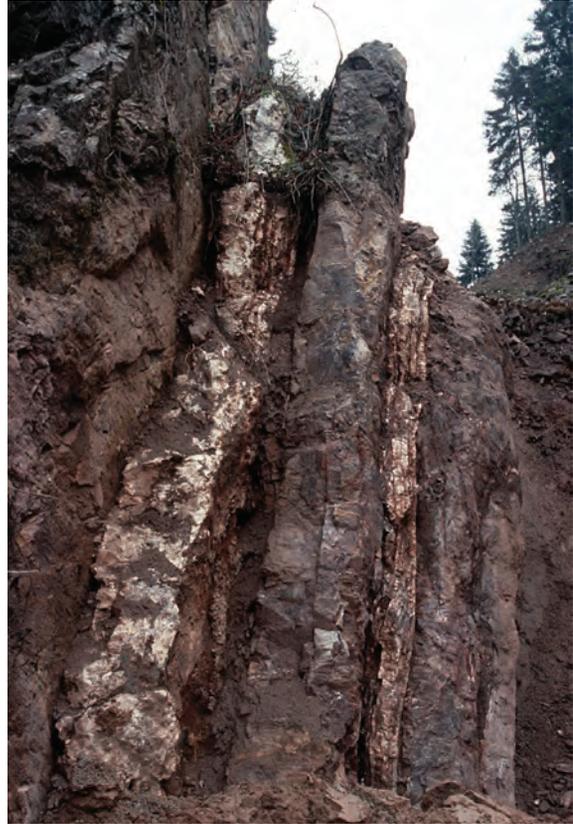
Die vielfältigen Hydrothermalgänge des Schwarzwalds können nach der angetroffenen Mineral-



▲ **Abb. 30**
Hydrothermalgänge VI:
Unregelmäßiger, „sich zerschlagender“ Gang.

Die tektonischen Bewegungen erfolgten auf vielen, subparallel verlaufenden und mechanisch gleichberechtigten Trennflächen im spröde brechenden, stark verkieselten Buntsandstein. Nur teilweise kam es zur Brekzien- und Spaltenbildung und zur mächtigeren Quarzmineralisation mit Sulfiderzen. Lokalität: Hella-Glück-Stollen bei Neubulach, TK 25: 7318 Wildberg. Kurze Bildseite entspricht ca. 1,1 m in der Natur. Firstenbild!

vergesellschaftung systematisch untergliedert werden. SCHÜRENBERG (in: METZ et al. 1957) befasste sich eingehend mit den Paragenesen der Gänge im Südschwarzwald und unterteilte diese in acht Gruppen (A–H). WIMMENAUER (1980) übertrug diese Gliederung auf den Mittleren und



▲ **Abb. 31**
Hydrothermalgänge VII:
Parallel verlaufende, intern gebänderte Spatgänge.

Im Gneis sind auf vielen parallel verlaufenden Störungsflächen Spalten aufgerissen, auf denen Schwespat abgesetzt wurde; ein gut gebänderter Schwespatgang ist in Abb. 65 dargestellt. Lokalität: Alter Tagebau der Grube Clara am Schwarzenbruch, TK 25: 7615 Oberwolfach. Kurze Bildseite entspricht ca. 2 m in der Natur.

Nördlichen Schwarzwald und erweiterte sie. Oftmals zeigen Gänge gleicher Paragenese ähnliche Streichrichtungen. Diese Paragenesengliederung ist jedoch stark von den im Moment der Aufnahme zugänglichen Aufschlüssen im Gangsystem abhängig und kann sich daher mit weite-



◀ **Abb. 32**
Hydrothermalgänge VIII:
Unregelmäßig gebänderter Gang mit Erzbrekzien.

Hämatitvererzung in barytischer Gangart; Nebengestein: Eisenbach-Granit. Lokalität: Grube Rappenloch, östlich der Ortschaft Eisenbach, TK 25: 8015 Titisee-Neustadt. Kurze Bildseite entspricht ca. 0,6 m in der Natur.



◀ **Abb. 33**
Hydrothermalgänge IX:
Linsen- bis nesterartige Erzanreicherung.

Derbe Bleiglanzner in Quarz im stark gestörten Gneis auf der Friedrich-Christian-Herrensegen-Störungszone bei Wildschapbach. Die auf einer breiten dextralen Scherzone gelegene Hydrothermalmineralisation besteht aus zahlreichen Linsen kurzer Erstreckung. Lokalität: Straßburger Stollen im Hirschbachtal, TK 25: 7615 Wolfach. Kurze Bildseite entspricht ca. 0,5 m in der Natur.

ren Aufschlüssen verändern; ferner erschweren die recht häufigen Verdrängungserscheinungen, bei denen der ältere Mineralbestand ganz oder teilweise durch jüngere Hydrothermen aufgelöst wurde, die Zuordnung erheblich. Außerdem ist bekannt, dass sich die Zusammensetzung von Gängen in vertikaler wie lateraler Richtung oftmals rasch ändert. In Anlehnung an MAUS & RENK (1981) lässt sich aber folgende generalisierte und **vereinfachte Gliederung** der Schwarzwälder Hydrothermalgänge aufstellen:

- Hochtemperierte Quarzgänge, typischerweise mit Hornsteinquarz sowie mit Hämatit, Pyrit und Beimengungen von Arsenkies, Kupferkies, Wolframit, Wismut- und Molybdänglanz, gelegentlich auch mit Fluorit und Scheelit sowie Spuren von Gold; bei Menzenschwand führten diese Gänge Pechblende. Sie gehören in der Regel zu den sog. spätvariszischen Gängen.
- Quarz-Arsenkiesgänge mit Pyrit, Zinkblende, Bleiglanz, Fahlerz, Kupferkies, Baryt und Karbonatmineralen (Umfeld Münstertal).
- Quarz-Schwerspatgänge mit Silber-, Kobalt-, Nickel-, Wismut- und Uranmineralen (Typus Wittichen).
- Niedrigtemperierte Quarzgänge mit Schwerspat, Flussspat und Bleiglanz sowie vereinzelt Zinkblende und Kupferkies (Typus Badenweiler-Quarzziff).
- Schwerspat-Quarz-Karbonatgänge mit Zinkblende und Bleiglanz (Typus Schauinsland).
- Spatgänge: Schwerspat-Flussspatgänge bis Flussspat-Schwerspatgänge mit Karbonaten und verschiedenartigen Sulfiderzen (Typus Teufelsgrund, Wieden, Clara, Käfersteige).
- Schwerspatgänge mit Quarz und Eisenkarbonaten (selten mit Fluorit) sowie mit Bleiglanz und Fahlerz (Typus Schwarzwald-Randverwerfung mit Glottertal, Suggental, Freiamt-Sexau usw.).
- Karbonatgänge mit Schwerspat, Fluorit, Quarz und Silber-Antimon-Erzen (Typus Grube Wenzel).

Am Beispiel des Schauinslands mit seinem ausgedehnten Grubengebäude (Kap. 5.10) – rund 100 km Stollen, Strecken und Schächte auf 900 m Tiefe – lässt sich zeigen, dass die in Oberflächennähe scheinbar getrennten Gänge zu einer komplexen, aber systematisch aufgebauten Störungszone gehören (Abb. 66 und 203). Andere Gänge, wie der Fluorit-Quarz-Gang der Grube Käfersteige bei Pforzheim, reichen als mächtige, steilstehende Körper vom Muschelkalk bis in das Grundgebirge hinein (Abb. 57) oder lassen sich über viele Kilometer mit linearer Erstreckung ohne wesentliche Mächtigkeitsveränderungen verfolgen, wie z. B. der Urberger Gangzug bei St. Blasien (Grube Gottesehre) oder der Mineralgang von Silberberg–Brenden. In der Regel aber handelt es sich um Gänge mit rasch wechselnden Mächtigkeiten und Mineralgehalten, die abschnittsweise auf meist parallel oder spitzwinklig verlaufenden Störungen auftreten, welche zu breiten und kompliziert aufgebauten Störungszonen gehören.

Die Hydrothermalgänge des Schwarzwalds treten uns wegen der unterschiedlichen Mineralinhalte, Nebengesteine und der wechselhaften, stets mehrphasigen tektonischen Entwicklungsgeschichte in einer großen **Formenvielfalt** entgegen. Häufig handelt es sich um Gangfüllungen mit zahlreichen Nebengesteinsbruchstücken (Brekzien), die anzeigen, dass Nebengesteine und / oder ältere Mineralausfüllungen der Spaltensysteme erneuten bruchtektonischen Vorgängen unterworfen waren (Abb. 25 bis 28). Viele Gänge zeigen Fiederstrukturen oder ein Netzwerk spitzwinklig zueinander orientierter mineralisierter Spalten und offener Klüfte (Abb. 29 und 30), z. T. verlaufen sie in engem Abstand parallel zueinander (Abb. 31). Neben brekziösen oder massigen Gängen treten auch unterschiedlich deutlich gebänderte Strukturen auf (Abb. 32 und 34). Auch linsenförmige Erzanreicherungen, die sich auf einer breiteren Störungsstruktur aufreihen, sind bekannt (Abb. 33). Die häufigsten und besonders charakteristischen Minerale und Mineralvergesellschaftungen der Schwarzwälder Hydrothermalgänge sind in den Abb. 34 bis 50 dargestellt.



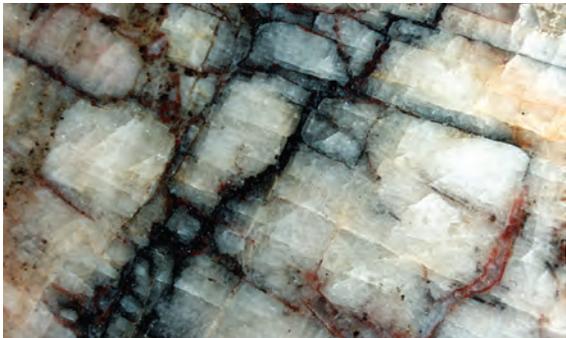
◀ **Abb. 34**
Gangminerale I: Quarz, feinkörnig, xenomorph.

Das häufigste Mineral der Hydrothermalgänge ist dichter bis feinkörniger Quarz. Er tritt sowohl im Nebengestein der Gänge (Nebengesteinsverkieiselung) als auch in zahlreichen lagigen oder derben Quarzgängen auf; daneben erscheint er auf den Schwarzwälder Gängen auch häufig als Verdränger der Erze oder Spate (z. B. Kap. 5.12). Fundort: Steinbruch Artenberg bei Steinach. Kurze Bildseite entspricht ca. 2,5 cm in der Natur.



◀ **Abb. 35**
Gangminerale II: Quarz, idiomorph.

Auf Drusen sind eigengestaltige Kristalle von Quarz weit verbreitet, hier durch Eisenbeimengungen honiggelb gefärbt. Fundort: Fluss- und Schwerspatgang der Grube Segen Gottes bei Haslach i. K., Ortsteil Schnellinggen. Kurze Bildseite entspricht ca. 2 cm in der Natur.



◀ **Abb. 36**
Gangminerale III: Schwerspat, derb.

Das zweithäufigste Mineral der Hydrothermalgänge im Schwarzwald ist der Schwerspat (Baryt), im Bild in einer typisch blättrig-tafeligen Form. Im vorliegenden Fall sind auf den Spaltrissen eisenreiche Lösungen eingedrungen und haben Hämatit abgesetzt. Fundort: Rammelsbacher Eck bei Sulzburg. Lange Bildseite entspricht ca. 2,7 cm in der Natur.



◀ **Abb. 37**
Gangminerale IV: Schwerspat, idiomorph.

Weltweit einmalig sind die nach ihrer Form als „Meißelspäte“ bezeichneten Barytkristalle, die auf Drusen in den Gängen der Grube Clara bei Oberwolfach vorkommen (vgl. Kap. 3.3.2). Sammlung des Mineralienmuseums in Oberwolfach. Größter Kristall: Länge ca. 3 cm.

► **Abb. 38****Gangminerale V: Schwerspat, blättrige Kristalle.**

Blättrige Kristallaggregate von Schwerspat sind besonders häufig. Im gezeigten Beispiel sind die Kristalle von klarem Quarz überwachsen. Fundort: Grube Segen Gottes bei Haslach i. K., Ortsteil Schnellingen. Lange Bildseite entspricht ca. 2,5 cm in der Natur.

► **Abb. 39****Gangminerale VI: Schwerspat, nadelige Kristalle.**

Schwerspat tritt in vielen Erscheinungsformen auf, hier in einem büscheligen Aggregat, Braunfärbung durch verwitterten Pyrit. Fundort: Grube Segen Gottes bei Haslach i. K., Ortsteil Schnellingen. Lange Bildseite entspricht ca. 1 cm in der Natur.

► **Abb. 40****Gangminerale VII: Flussspat, wasserklar.**

Fundort Grube Clara bei Oberwolfach.
Kristallgröße ca. 5 cm.

► **Abb. 41****Gangminerale VIII: Flussspat, blau.**

Fundort: Grube Hesselbach bei Oberkirch.
Kristallgröße: ca. 5 cm.





◀ **Abb. 42**

Gangminerale IX: Flussspat, violett.

Kristallgruppe von Fluorit auf Quarz und Zinkblende. Fundort: Grube Segen Gottes bei Haslach i. K., Ortsteil Schnellingen. Lange Bildseite entspricht ca. 9,5 mm in der Natur.



◀ **Abb. 43**

Erze I: Hämatitgang mit Schwerspat.

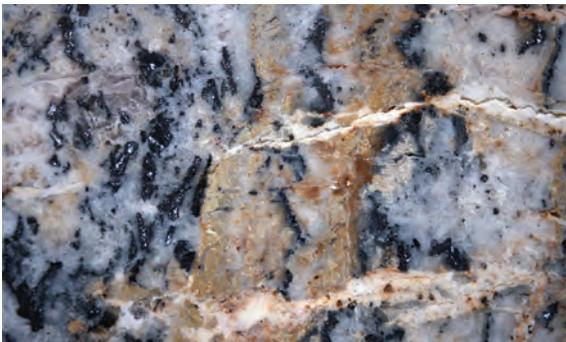
Das dargestellte Handstück entstammt dem am frühesten genutzten Erzvorkommen im Schwarzwald. Schon in der Jungsteinzeit wurden diese Roteisenerze östlich von Sulzburg zur Erzeugung von roter Farberde (Rötel) abgebaut. Fundort: Rammelsbacher Eck bei Sulzburg. Lange Seite des Handstücks entspricht ca. 15 cm in der Natur.



◀ **Abb. 44**

Erze II: Roter Glaskopf (Hämatit).

Fundort: Eisenerzgang im Bühlertalgranit, Grube Schrotloch, nördlich der Hornisgrinde. Lange Seite des Handstücks entspricht ca. 20 cm in der Natur.



◀ **Abb. 45**

Erze III: Bleiglanz.

Bleiglanzreicher Quarzgang, durchschlagen von schmalen Baryttrümchen. Fundort: Karlstollen bei Badenweiler. Lange Seite entspricht ca. 17 cm in der Natur.



▲ Abb. 46
Erze IV: Zinkblende.

Dunkelbraune Aggregate von Zinkblende über Quarz IIc, selbst von Dolomit und Baryt II überkrustet. Fundort: Grube Schauinsland, Gang III, 2. Feldstrecke über Kapplersohle. Lange Bildseite entspricht ca. 17 cm in der Natur.

Nach den neueren Untersuchungen (WERNER & FRANZKE 1994, 2001, WERNER et al. 1990, 2002) zeigen die Hydrothermalgänge des Schwarzwalds trotz ihrer Vielfalt und Besonderheiten im Einzelnen mehrere aus lagerstättengeologischer Sicht bemerkenswerte **Gemeinsamkeiten**:

- (1) Die im Zeitraum zwischen der Wende Oberjura/Kreide und dem Jungtertiär (160 bis ca. 15 Mio. Jahre) entstandenen Erz- und Mineralgänge folgen altangelegten, mindestens spätvariszischen, d. h. 350–330 Mio. Jahre alten Bruchzonen, die teilweise schon vererzt waren (Hämatit, Wolfram, Uran, selten Zinn, Antimon und Gold), in der Regel aber stark verkieselt sind. Diese Bruchzonen verlaufen entweder überwiegend NNE–SSW, d. h. parallel oder spitzwinklig zum Oberrheingraben, oder NW–SE. Letztgenannte sind als Fiederstörungen bei Bewegungen entlang variszisch angelegter, etwa E–W streichender Scherzonen entstanden. Diese alten „Schwächezonen“ wurden während der Hebung und Dehnung der oberen Erdkruste erneut mineralisiert.
- (2) Die hydrothermale Mineralisation erfolgte i. d. R. in drei Hauptphasen und mehreren Subphasen. Noch gibt es zu wenige Altersdatierungen an den Gangmineralen, um entscheiden zu können, ob es sich hierbei um den Ausdruck von drei zusammenhängenden, das gesamte Gebirge erfassenden tektonischen Ereignissen handelt oder nicht.
- (3) Entlang der Gangstörungen kam es dort zum Aufreißen von Spalten und damit oft zur Bildung bauwürdiger Mächtigkeiten, wo die Gneisfoliation etwa senkrecht zur Gangstörung orientiert ist. Gut zu sehen sind diese geometrischen Beziehungen z. B. in den Gruben Segen Gottes, Erich im Suggental, Schauinsland, Teufelsgrund und Finstergrund. Seltener wurden die Scheitel- oder Flankenbereiche von weitspannigen Gneisfalten als Schwächezonen genutzt (Gruben Wenzel und Caroline). Bei diagonalem Verlauf rissen nur Schwärme von geringmächtigen Gängen auf (St. Ulrich). Die stets vorhandenen tonmineralreichen Rutscheln (Abb. 22), von denen die Mehrzahl während des jüngeren Mesozoikums entstanden ist, behinderten hingegen die Öffnung der Störungen zu Spalten; deshalb haben sie die Lagerstättenbildung ganz entscheidend beeinflusst.

Vom Erscheinungsbild der o. g. Hydrothermalgänge weichen die östlich von Sulzburg und Badenweiler auftretenden, feinverteilten Goldmineralisationen ab, die an verkieselte tektonische Brekzienzonen in vulkanosedimentären Serien des Karbons innerhalb der Badenweiler-Lenzkirch-Zone (BLZ) gebunden sind. Vermutlich handelt es sich um niedrigthermale Mineralisationen entlang einer tektonischen Scherzone, die aus der großen Überschiebungszone zwischen Badenweiler und Lenzkirch (SAWATZKI & HANN 2003) hervorgegangen ist. Diese Goldmineralisation wurde zwischen 1979 und 1989 auf ihre wirtschaftliche Bedeutung untersucht. Sie liegt im Zentrum eines E–W gestreckten, ca. 24 km langen und 7–8 km breiten Gebietes mit zahlreichen kleinen Wolframmineralisationen auf Quarzgängchen und Verkieselungszonen (Abb. 55).

Exkurs

Silber – ein begehrtes Edelmetall

Zu den für den alten Bergbau wichtigsten Metallen gehört das Silber, chemische Kurzform Ag (lat.: argentum). Es ist wie Gold und Kupfer ein edles Metall, das in der Natur nicht nur in Verbindungen, sondern auch in metallischer (gediegener) Form vorkommt (Abb. 47). Silber ist außerordentlich dehnbar und kann zu feinen Folien von Blattsilber ausgewalzt werden, außerdem weist es die größte thermische und elektrische Leitfähigkeit aller Metalle und das höchste Reflexionsvermögen aller natürlichen Substanzen auf. Silber ist ein seltenes Metall; im Durchschnitt ist es in der Erdkruste nur in einer Konzentration von 0,08 g/t vorhanden. Erst durch die zuvor erläuterten hydrothermalen Anreicherungsprozesse kam es zur Bildung von silberhaltigen Metallergzlagerstätten im Schwarzwald.

Es gibt rund 130 verschiedene Silberminerale. Die wichtigsten Ag-Erze sind Silberglanz Ag_2S sowie verschiedene Arsen- und Antimonverbindungen, vor allem die Fahlerze mit der allgemeinen Formel $(\text{Cu}, \text{Ag})_3(\text{Sb}, \text{As})\text{S}_3$, dunkles und liches Rotgültigerz (Proustit, Pyrargyrit) und Silberantimonglanz (Miargyrit). Mengemäßig ist im Schwarzwald der Bleiglanz PbS das wichtigste Silbererz, da er stets geringe Mengen an Silber (0,01 bis ca. 1 %) enthält.

Abb. 47
Erze V: Gediegenes Silber.

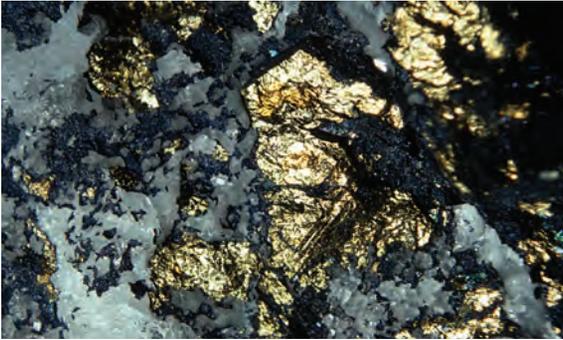


Silberbäumchen in weißem Baryt. Fundort: Steinbruch Silbersee bei Reinerzau (Fund aus dem Jahr 1982). Breite der Stufe ca. 6 cm.

Fahlerze sind ebenfalls weit verbreitet und meist mit Bleiglanz eng verwachsen. Sie können bis 18 % Ag enthalten. Ungewöhnlich ist das Auftreten von reinen Silber-Antimon-Verbindungen wie Dyskrasit und Allargentum (Ag-Gehalt über 70%) im Schwespat- Calcit-Gang der Grube Wenzel im Frohnbach bei Oberwolfach (Kap. 5.7). Gediegenes Silber wurde in geringen Mengen auf vielen Gruben vor allem im Mittleren Schwarzwald angetroffen; im Revier Wittichen war es von besonderer Bedeutung.

Silber ist gut zu verarbeiten und an der Luft chemisch stabil. Aus diesem Grund wurde das weißglänzende Metall früher vor allem als Münzmetall verwendet,

andererseits war und ist es für die Herstellung verschiedener Alltags-, Kunst- und Repräsentationsgegenstände von großer Bedeutung. Da es in reiner Form aber zu weich ist, wird es für diese Zwecke mit geringen Mengen von Kupfer legiert. Seine große chemische Stabilität wird eindrucksvoll z. B. durch den bei Augst (östlich Basel) vergrabenen Römerschatz belegt, der die rund 1700 Jahre bis zu seiner Entdeckung unbeschadet überstanden hat. Wegen seiner hohen Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität und seiner guten Dehnbarkeit wird es in der Technik vielseitig eingesetzt. Ag wirkt außerdem keimtötend, daher wurde es besonders früher häufig für Essgeräte und Trinkgefäße verwendet.

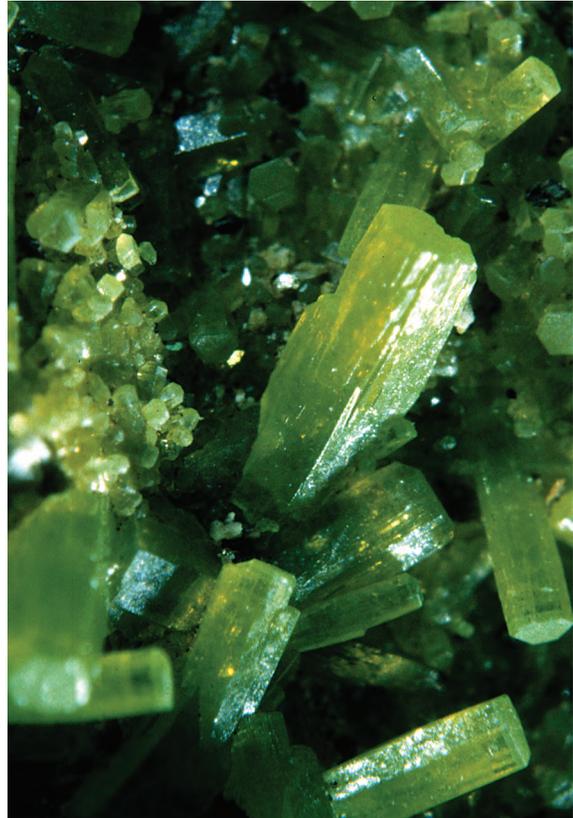


▲ **Abb. 48**
Erze VI: Kupferkies (goldgelb) und Covellin.

Fundort: Grube Clara bei Oberwolfach.
 Lange Bildseite entspricht ca. 2 cm in der Natur.

▼ **Abb. 49**
Erze VII: Sekundärerz Azurit (Kupferlasur).

Azurit bildete sich auf den Schwarzwälder Gängen aus der Verwitterung kupferreicher Sulfiderze.
 Fundort: Bergbauhalden bei Neubulach.
 Lange Bildseite entspricht ca. 1,1 cm in der Natur.

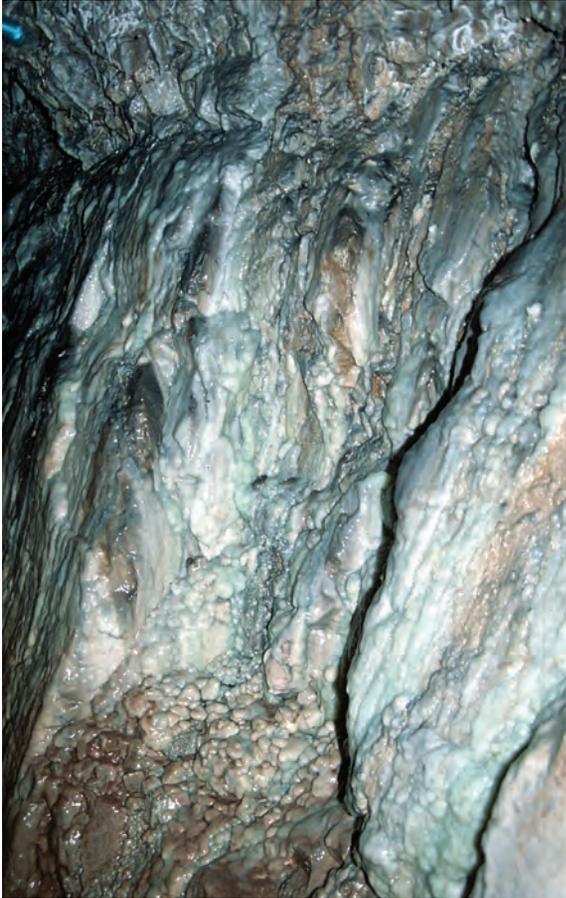


▲ **Abb. 50**
Erze VIII: Sekundärerz Pyromorphit (Grünbleierz).

Pyromorphitstufe vom Schauinsland, Farnackergänge.
 Lange Bildseite entspricht ca. 1,5 cm in der Natur.

Dies zeigt an, dass im westlichen Teil der Badenweiler-Lenzkirch-Zone ein großräumiges Hydrothermalsystem existierte, das die gesamte tektonische Scherzone erfasste.

Aufgrund des Gebirgsbaus und der tektonischen Vorgänge hat sich die Bildung der Erz- und Mineralgänge auf bestimmte Gebiete konzentriert (Abb. 4). Außerhalb dieser Gangreviere treten da und dort auch kleinere Vererzungen auf, die kurzzeitig Bergbau erlebt haben. Ein Beispiel hierfür ist die Grube Silbergründle im Seebachgranit am westlichen Rand des Nord-schwarzwalds (Kap. 5.3).



▲ **Abb. 51**
Junge Mineralisationen in Grubenbauen I:
Kalksinter mit Malachitbeimengungen.

Wasserstollen im Ziegelbachtal, Neubulach. Kurze Bildseite entspricht ca. 0,8 m in der Natur.

► **Abb. 52**
Junge Mineralisationen in Grubenbauen II:
Stalaktiten aus Eisenocker.

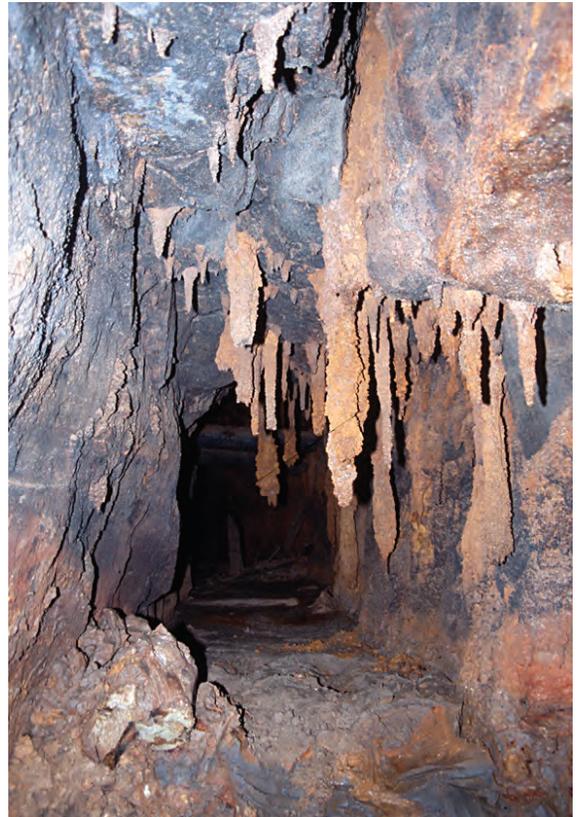
Niederschlagswässer haben aus dem Pyrit der Gänge das Eisen mobilisiert und im Verlaufe von über 200 Jahren bis über 1 m lange Stalaktiten aus wasserhaltigem Limonit in den alten Grubenbauen abgesetzt. Lokalität: Grube Segen Gottes bei Schnellingen, Mittlerer Stollen. Kurze Bildseite entspricht ca. 1 m in der Natur.

Kurzbeschreibung der Gangreviere

Die Verbreitungsgebiete von Erz- und Mineralgängen im Schwarzwald (Abb. 4) lassen sich wie folgt charakterisieren:

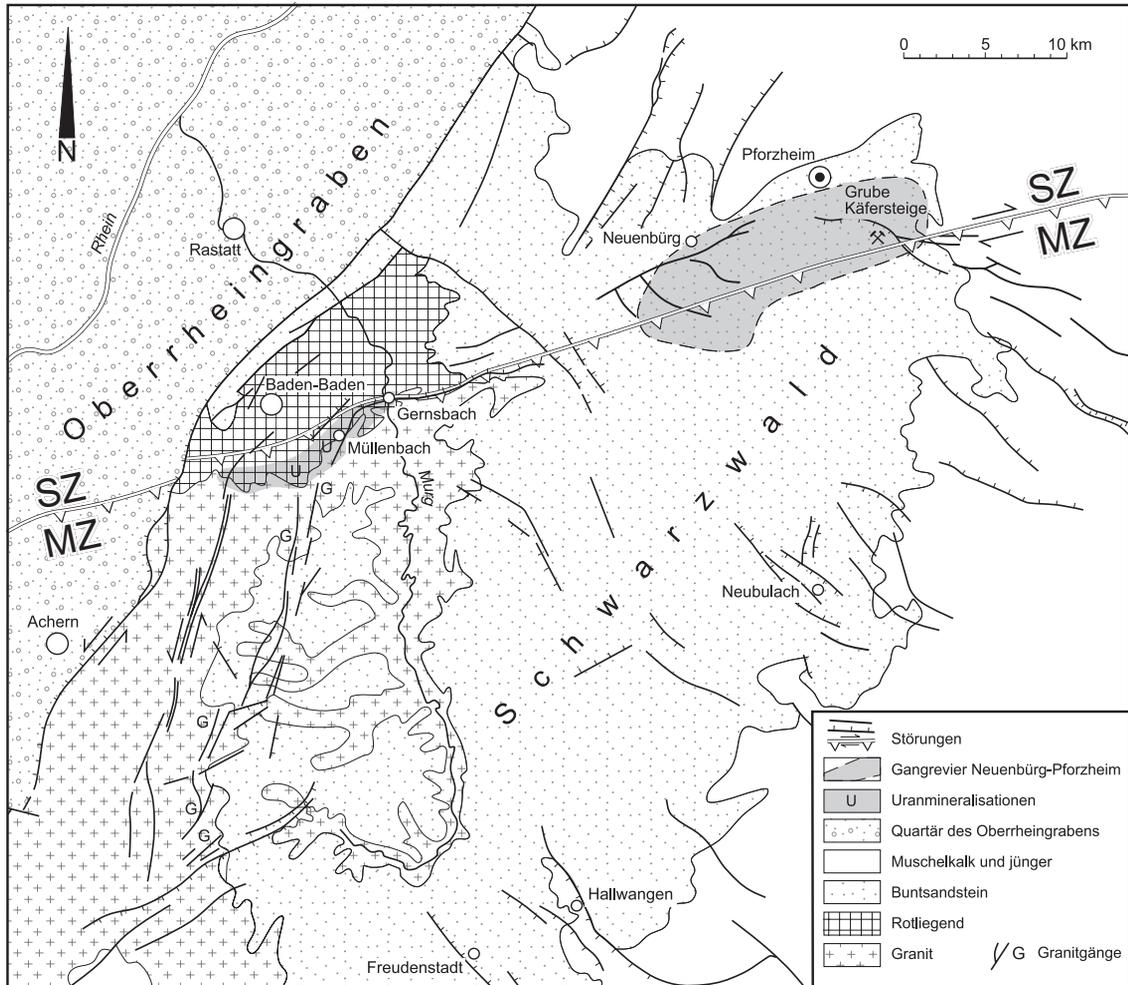
Revier Neuenbürg-Pforzheim

Zahlreiche Schwer- und Flussspatgänge mit Quarz sowie karbonatischen und hydroxidischen Eisenerzen, untergeordnet auch Kupfererzen, treten im Buntsandstein des Gebietes zwischen Neuenbürg und Pforzheim auf (Abb. 53). Sie reichen zumindest teilweise bis in das granitische Grundgebirge hinab, wie Forschungsbohrungen auf der Grube Käfersteige belegen. Zur Tiefe hin nimmt der Anteil an Fluorit, Calcit und Siderit zu. Die meist steil stehenden Gänge streichen NW–SE bis E–W und weisen zumeist Mächtigkeiten zwischen 0,5 und 7 m auf. Der bedeutende Käfersteigegang im Würmtal süd-



lich von Pforzheim besteht vornehmlich aus Fluorit und Quarz und enthält nur wenig Baryt, der vor allem in Oberflächennähe angereichert ist (Abb. 57). Er erreicht Mächtigkeiten von 30 m. Wie in Kap. 5.1 näher ausgeführt wird, sind die Erz- und Mineralgänge dieses Reviers

in der Folge von rechtsseitigen Blattverschiebungen auf einer im Grundgebirge verlaufenden alten Scherzone entstanden, an der vor rund 350 Mio. Jahren zwei Krustensegmente miteinander „verschweißt“ wurden. Die Lagerstätte Käfersteige ist in Kap. 3.3.1 näher beschrieben.



▲ **Abb. 53**
Vereinfachte geologische Übersichtskarte
des Nordschwarzwalds mit Darstellung wichtiger Störungsstrukturen.

Die Mineralgänge des Reviers Pforzheim–Neuenbürg sind ebenso wie die Uranmineralisationen bei Müllenbach im Überschneidungsbereich einer bedeutenden Suturezone (Grenze zwischen dem Saxothuringikum, SZ, und dem Moldanubikum, MZ) und NW–SE bzw. NNE–SSW verlaufenden Brüchen entstanden. Die Hydrothermalgänge bei Neubulach, Hallwangen und Freudenstadt befinden sich auf NW–SE streichenden Störungen am Ostrand des Nordschwarzwalds.

Revier Neubulach

In einer in tektonische Horste und Gräben gegliederten Buntsandsteinlandschaft am Ostrand des Nordschwarzwalds treten NW–SE gerichtete Gangzonen mit Quarz und Baryt auf, die silber- und wismutführende Fahlerze enthalten. Die Gangstörungen rissen infolge von rechtsseitig bewegten Schrägabschiebungen auf und wurden zeitgleich verquarzt. Junge Bewegungen auf den alten Störungen und das Eindringen von sauerstoff- und kohlendioxidreichen Niederschlagswässern führten zur tiefreichenden Bildung von oxidischen Kupfererzen, die in der Anfangsphase des Bergbaus sicherlich vor allem wegen des für die Erzeugung blauer Farbpigmente begehrten Azurits von großer Bedeutung waren (Abb. 49). Die Gewinnung der Oxidationsminerale und der primären sulfidischen Erze ermöglichte im Mittelalter die Entwicklung einer bedeutenden Bergbaustadt. Das Revier erweckte noch einmal im 20. Jahrhundert die Aufmerksamkeit der Prospektoren und Metallurgen, weil die vornehmlich zwischen dem 13. und 16. Jahrhundert auf Halde geworfenen Wismuterze Bedeutung für die Stahlveredelung erlangten. Die Ausdehnung der noch auffindbaren Halden – es wurden über 550 000 t Haldenmaterial ermittelt – lässt erahnen, welche Bedeutung der Bergbau einst hatte (Kap. 5.2).

Revier Freudenstadt

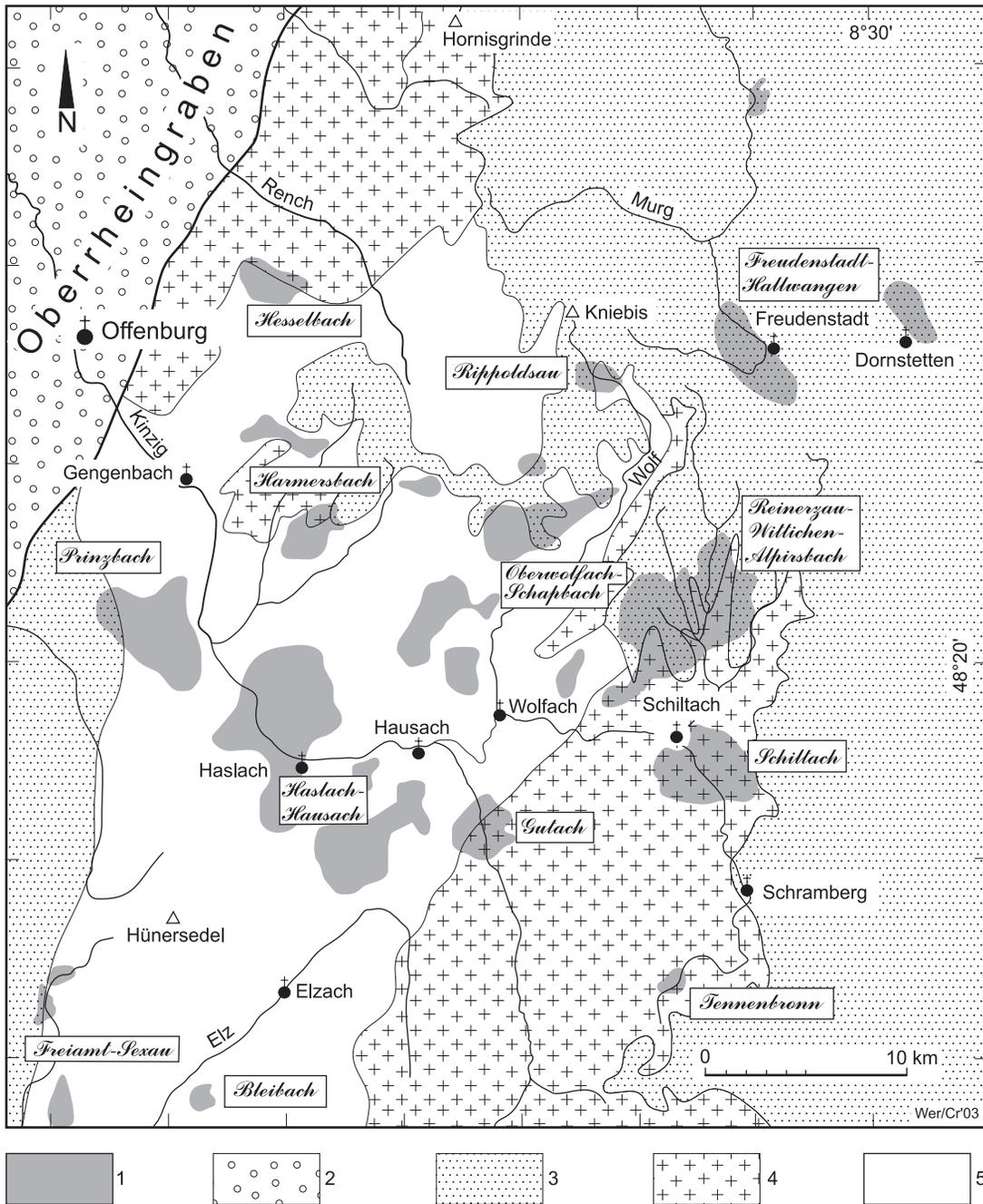
Bei Freudenstadt und seiner historischen Keimzelle Christophstal sowie bei Dornstetten, Hallwangen und Baiersbrunn wurde auf zahlreichen im Buntsandstein und im Rotliegend aufsetzenden Schwespat- und Quarzgängen Kupfer-, Silber- und Eisenerzbergbau betrieben (Abb. 54). Die Gänge streichen ebenfalls in NW–SE-Richtung und weisen zahlreiche geologische und mineralogische Gemeinsamkeiten mit dem Revier Neubulach auf. Die Bildung der steilstehenden Gänge, die wie bei Pforzheim bis in das granitische Grundgebirge hinab reichen können, geht ebenfalls auf rechtsseitige Blattverschiebungen zurück. Hierbei sind auch die Randstörungen des späteren Freudenstädter Grabens entstanden.

Durch Dehnung der Kruste brach der Graben ein, auf dessen Randstörungsstaffeln (Abb. 154) die fahlerzführenden Mineralgänge entstanden. Wie bei Neubulach ging der Vererzung eine intensive Verkieselung der Nebengesteine voraus. Nach der Barytmineralisation kam es erneut zur Siliziumzufuhr und zur teilweisen Verdrängung des Baryts durch Quarz. Gute Aufschlüsse gibt es in den beiden Besucherbergwerken bei Hallwangen und Freudenstadt (Kap. 5.4 und 5.5). Auf den bis 6 m mächtigen Gängen der Grube Dorothea bei Christophstal und auch auf der Grube Himmlisch Heer bei Hallwangen konnten in den letzten Jahrzehnten durch Explorationsarbeiten wirtschaftlich interessante Mengen von Schwespat nachgewiesen werden.

Reviere im Kinzigtal

Zu diesem größten Verbreitungsgebiet von Erz- und Mineralgängen im Schwarzwald gehören die Reviere Harmersbach, Prinzbach, Haslach–Hausach, Wolfach, Rippoldsau und Reinerzau–Wittichen (Abb. 54). Die Gruben Segen Gottes bei Schnellingen und Wenzel im Frohnbach (Kap. 5.6 und 5.7) zählen neben den Bergwerken Bernhard im Hauserbach, Erzengel Gabriel im Schierengrund (Einbachtal), Clara bei Oberwolfach, Friedrich-Christian bei Wildschapbach und denen bei Wittichen (Gnade Gottes am Silberberg, Sophia im Böckelsbach und Güte Gottes im Zundelgraben), Anton im Heubach, Heiliger Dreikönigsstern bei Reinerzau, Prosper in Rippoldsau sowie Wolfgang und Eberhard bei Alpirsbach zu den bedeutenden und in der Literatur oft erwähnten historischen Bergwerken im Kinzigtal.

Die Hydrothermalgänge treten im kristallinen Grundgebirge auf, reichen aber auch bis in den überlagernden Buntsandstein hinauf (z. B. Grube Clara). Zumeist handelt es sich um Quarzgänge, Baryt-Quarz- oder Baryt-Fluoritgänge, gelegentlich auch um Calcit-Barytgänge, die abschnittsweise und in unregelmäßiger Verteilung oft silberführende Erze von Blei, Zink, Kupfer, Antimon und teilweise auch Wismut, Nickel und Kobalt aufweisen.



▲ **Abb. 54**

Vereinfachte geologische Karte und Übersicht über die Bergbaureviere im Umfeld des Kinzigtals.

Legende

(1) Verbreitungsgebiet von erzführenden Hydrothermalgängen. (2) Quartär im Oberrheingraben. (3) Deckgebirge (vor allem Buntsandstein). (4) Granit. (5) Gneisserien. Grundlage: LGRB (1998), METZ et al. (1957).

Als wichtigste Erze sind Bleiglanz und Fahlerz mit stark schwankenden Silbergehalten zu nennen, auch Zinkblende ist weit verbreitet. Das Revier Wittichen wurde durch seine Gänge der sog. Bi-Co-Ni-U-Ag-Formation⁵ berühmt, wobei zunächst der Silbergehalt, dann die Kobaltführung (Blaufarbenindustrie) von Bedeutung waren. Als Besonderheit ist das teilweise massive Auftreten von Dyskrasit und Allargentum, zwei sonst seltenen Silber-Antimon-Verbindungen, auf dem Wenzelgang zu nennen (Abb. 178, Kap. 5.7). Auch geringe Goldmineralisationen auf den Quarz-Hämatitgängen sind nachgewiesen, so z. B. in den Gruben Ludwig im Adlersbach und Segen Gottes bei Schnellingen (Kap. 5.6).

Charakteristisch ist die strukturgeologische Situation im Revier Kinzigtal: Die meisten Erz- und Mineralgänge verlaufen in NW–SE- bis NNW–SSE-Richtung und werden von annähernd E–W gerichteten Störungen abgeschnitten, biegen in diese ein oder setzen bereits vor Erreichen dieser alten, breiten Scherzonen aus. Diese über viele Kilometer Längserstreckung verfolgbaren E–W-Störungen bestehen aus breiten Ruschel- und Kataklasezonen, die durch tektonische Zerreißung und niedrigthermale Alteration der Gneise entstanden sind. Auf diesen Scherzonen, die sowohl dextrale als auch sinistrale Scherung erkennen lassen, treten nur selten bauwürdige Mineralisationen auf, wie z. B. in der Grube Daniel im Gallenbach bei Wittichen und innerhalb der Gangzone Friedrich-Christian-Herrenseggen (Abb. 33), wobei es sich jedoch auch hier um Nester und Trümer kurzer Erstreckung handelt, die sich entlang der ca. 150 m breiten Scherzone aufreihen oder von dieser abscharen (z. B. LAUFHÜTTE 1954). Die mehrfachen Bewegungen auf den E–W-Störungen führten möglicherweise zuerst zur Anlage der NW–SE-Gangstörungen, andererseits aber auch zum Versatz der bereits mineralisierten Spalten und zur Einschuppung in diese tektonische Hauptrichtung. Auch die Gänge der Grube Clara bei Oberwolfach liegen zwi-

schen E–W verlaufenden, breiten Ruschelzonen. Wie in den nördlich gelegenen Revieren bei Freudenstadt und Hallwangen, Neubulach und Neuenbürg–Pforzheim können rechtsseitige Blattverschiebungen auf den E–W bis ENE–WSW gerichteten Hauptstörungssystemen (wie Baden-Baden–Lalaye-Zone und Schwäbisches Lineament) zur Bildung und abschnittsweisen Öffnung von tiefreichenden NW–SE-Brüchen geführt haben. Jedoch wurden die NW–SE-Gangspalten während der Mineralisation nicht nur dextral (Segen Gottes), sondern auch abwechselnd sinistral und dextral bewegt (Wenzel- und Clara-Gänge) (Abb. 175).

Reviere an der Schwarzwaldrandstörung

Entlang des Weststrands des Schwarzwalds zwischen Baden-Baden im Norden und Badenweiler im Süden sowie in den angrenzenden Revieren im Suggental, im Glottertal, in Freiamt–Sexau und Diersburg-Zunsweier treten erz- und sideritführende Schwerspat- und Quarzgänge auf, die zumeist der Randstörung folgen bzw. parallel oder spitzwinklig (vor allem in NNE-Richtung) zu ihr verlaufen. Die Gänge setzen überwiegend im Grundgebirge auf, befinden sich z. T. direkt auf der Randstörung oder durchschlagen den verkieselten Buntsandstein nahe der Randstörung (Freiamt, Badenweiler, Sehringen). In Oberflächennähe führen sie oft Brauneisen, das – wie bei Neuenbürg – aus Eisenspat hervorging. Die Erzführung besteht vor allem aus Bleiglanz, Fahlerz, etwas Pyrit, Kupferkies und Zinkblende (Kap. 5.8). Nur der Schwerspatgang der Grube Erich im Suggental zeigt mit NW–SE-Streichen deutliches Abweichen von der Richtung der anderen Hydrothermalgänge am Schwarzwaldrand (Kap. 5.9). Die Gänge sind wahrscheinlich alle im Jungtertiär entstanden, folgen aber meist alten Vorzeichnungen, die durch Gesteinsgänge (vor allem Aplitgranitgänge) und hämatitreiche Milchquarz- oder Hornsteingänge markiert sind.

⁵ so benannt nach den auftretenden Metallen Wismut (Bi), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Uran (U) und Silber (Ag).

Bei **Badenweiler**, wo bereits römischer, möglicherweise auch schon keltischer Erzbergbau umging, treten zahlreiche erzführende Quarz-Baryt-Fluoritgänge mit N–S- und NNE–SSW-Streichen im sog. Quarzriff (einem bis 35 m mächtigen, steilstehenden Quarzgang unmittelbar an der Schwarzwald-Randstörung), in stark brekziierten und verkieselten Grundgebirgssteinen sowie im verkieselten Buntsandstein auf. Haupterz ist hier silberarmer Bleiglanz (Abb. 45), daneben auch Fahlerz, bei der Grube Otto kommt reichlich Zinkblende vor (HENGLEIN 1924, BECHERER & KONRAD 1988, WERNER & FRANZKE 1994).

Im Karlstollen, südlich oberhalb von Badenweiler, der im Rahmen der Autarkiebestrebungen und später auch aus militärischen Gründen im Dritten Reich wieder aufgewältigt wurde und heute noch auf einer Länge von ca. 300 m befahren werden kann, ist eine rund 4 m breite N–S streichende und steil stehende Störungzone im Granit aufgeschlossen: in einem mehrfach brekziierten Quarzgang mit Bleiglanz und Fahlerz sitzen jüngere, unregelmäßige Schwespatgänge, die bei linksseitiger, schrägabschiebender Scherung entlang der Schwarzwald-Randstörung gebildet wurden, wie Fiedergänge anzeigen. Dieser Hydrothermalgang wird durch fast parallel verlaufende, nur 40 bis 45° nach Osten einfallende Aufschiebungen mit hellgrauem Letten durchschlagen und in Schollen zerlegt. Diese jüngsten Störungen gehen auf die Heraushebung des Schwarzwaldkristallins gegenüber seinem westlichen Vorland zurück.

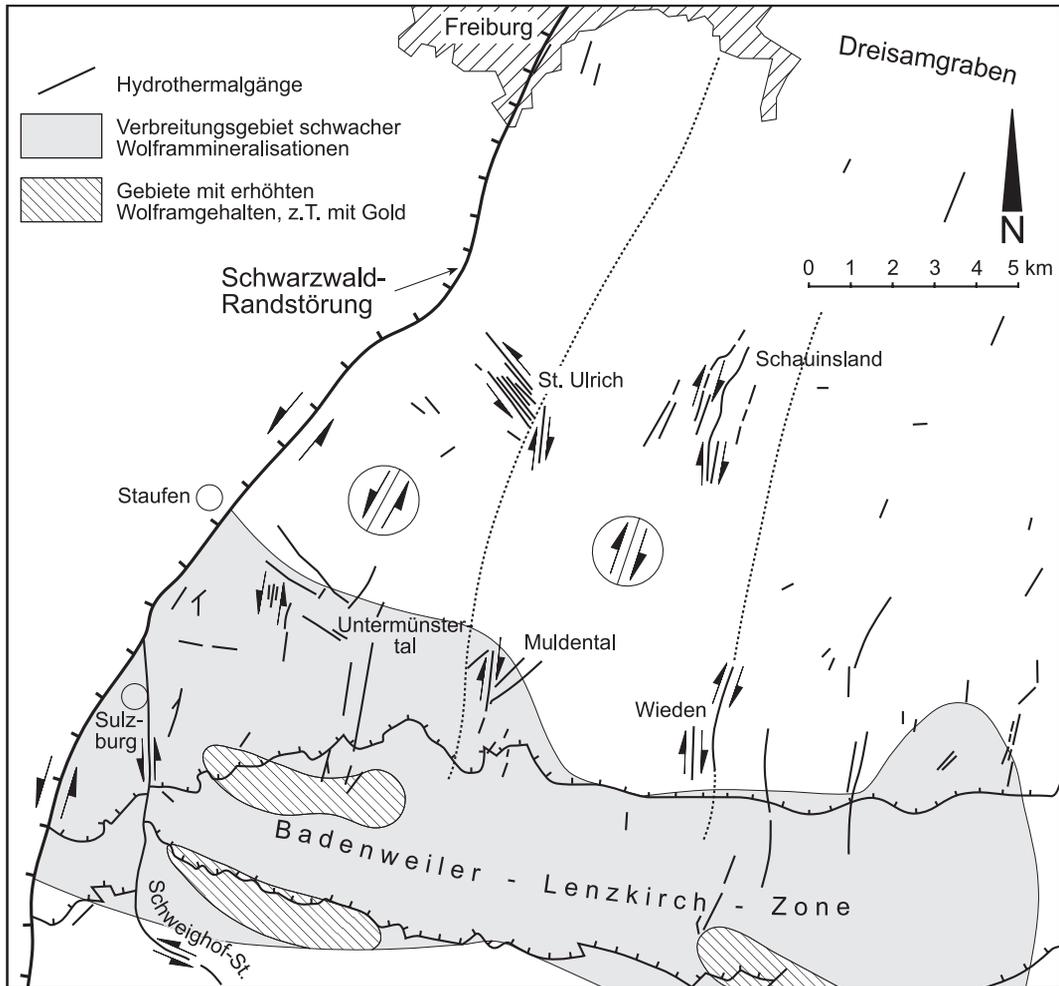
Revier Schauinsland

Im aus Gneisen und Diatexiten aufgebauten Schauinsland-Feldberg-Horst treten NNE–SSW streichende, komplex aufgebaute Quarz- sowie Schwespat- und Schwespat-Kalkspatgänge auf (Abb. 66). Die Gänge dieses höchstgelegenen deutschen Bergbaureviers enthalten für Schwarzwälder Verhältnisse ungewöhnlich große Mengen an Zink- und Bleierzen. Die Lagerstätte enthielt ursprünglich rund 2,5 Mio. t Erz mit einem Metallgehalt von rund 7 % Zink und Blei im Verhältnis 10 : 1. Die Gänge liegen auf vier Haupt-

gangzonen (Abb. 67). Die weiträumigen Aufschlüsse in der Grube Schauinsland (Kap. 5.10) ermöglichen einen hervorragenden Einblick in die lagerstättengeologischen und tektonischen Verhältnisse. Die Gänge entstanden während tertiärzeitlicher Blattverschiebungstektonik auf altangelegten Störungen, die zum Oberrheingraben parallel verlaufen. Die ursprünglich vorhandenen drei Generationen von Fluorit wurden weitgehend durch spätere Mineralisationen verdrängt, wodurch die ursprünglich große Verwandtschaft zu den Gängen im Münstertal verwischt wurde.

Reviere im Umfeld des Münstertals und des oberen Wiesentals

Nördlich der Badenweiler–Lenzkirch-Zone (BLZ) treten rund 150 Mineralgänge auf, die vornehmlich N–S bis NNE–SSW streichen; abgesehen von diesen Oberrheingraben-parallelen Gängen gibt es noch einige mit NE–SW- bzw. NW–SE-Verlauf (Abb. 55). Hauptgangminerale sind Quarz, Fluorit und Baryt. Verhältnismäßig silberreich waren die zahlreichen schmalen Quarzgänge im Bergbauggebiet am Birkenberg bei St. Ulrich (Abb. 67). Die überwiegende Zahl dieser Gänge liegt im Gneis bzw. Diatexit, z. T. durchschlagen sie auch Granit- und Quarzporphyrgänge. Bei Aitern, Utzenfeld und Bernau treten sie auch im Randgranit und in devonisch-karbonischen Sedimentgesteinen auf (Abb. 56). Das Revier reicht über rund 21 km E–W-Er Streckung von Sulzburg und dem vorderen Münstertal über das Gebiet Untermünstertal (Gänge Teufelsgrund, Schindler usw.), das Wiesentertal (Gänge Anton, Tannenboden, Finstergrund usw.) und Todtnau bzw. Todtnauberg (Gauchgänge) bis nach Brandenburg. SCHÜRENBURG unterschied nach der Paragenese verschiedene Gangtypen (in: METZ et al. 1957). Die wichtigsten sind die Quarz-Flussspatgänge mit Blei-Silbererzen im Gebiet Untermünstertal–Wiesentertal, Typ Schindler, und die Quarz-Schwespatgänge mit Blei-Zinkerzen im Münstertal, Typ Kropbach. In zwei Besucherbergwerken sind diese für den Bergbau lange Zeit bedeutenden Gänge wieder zugänglich (Kap. 5.11 und 5.12).



▲ **Abb. 55**
Übersicht über die Verbreitung der hydrothermalen Mineralisationen zwischen Freiburg i. Br. und der Badenweiler-Lenzkirch-Zone (BLZ).

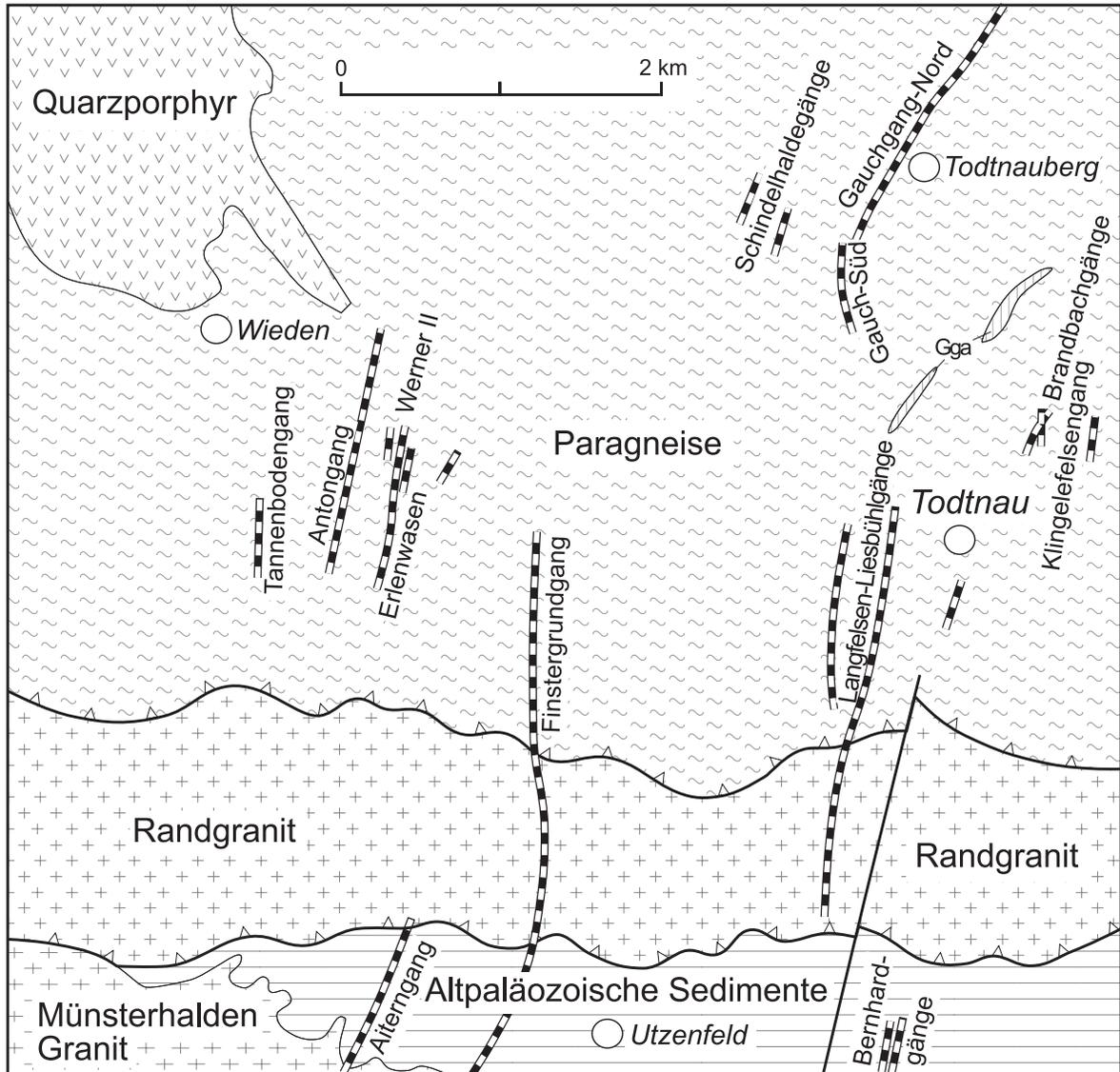
Die überwiegende Zahl der Gänge liegt auf Begleitstörungen zum Oberrheingraben. Je nach bevorzugter Bewegungsrichtung auf diesen Hauptstörungen (sinistral oder dextral = Pfeile im Kreis) sind auch NW–SE- oder NE–SW-Spalten aufgerissen. Weit verbreitete, aber schwache Mineralisationen von Wolfram, z. T. mit Gold, folgen der alten Scherzone der BLZ (n. WERNER et al. 1990, WERNER & FRANZKE 2002).

Die mineralogische Untersuchung der Gänge ergab, dass in vielen Fällen die Erz- und Gangartminerale in einer bestimmten Reihenfolge abgesetzt wurden. Bei den Erzen bildeten sich nacheinander Arsenkies, Pyrit, Zinkblende, Fahlerz, Kupferkies, Bleiglanz, Silberglanz, Antimon-

glanz sowie roter und brauner Glaskopf, bei den Gangartmineralen Siderit, Dolomit, Kalkspat, Fluorit und Baryt (MAUS 1990). Das häufigste Mineral, der Quarz, tritt als „Durchläufer“ während und nach der Abscheidung der genannten Minerale auf. Zu den berühmten Mineralisationen die-

ses Gebiets gehört der Gauchgang bei Todtnauberg, der sich über fast 2,8 km in NNE–SSW-Richtung erstreckt. Ziel des alten Bergbaus war silberhaltiger Bleiglanz. Die Gänge bei Todt-

nau weisen wie die bei Wieden eine dreiphasige Mineralisation auf und bestehen vor allem aus Quarz, Fluorit, Baryt, Dolomit und Kalkspat; Eisenspat ist im Gauchgang häufig (SEHLKE 1956).



▲ Abb. 56

Vereinfachte geologische Karte und Lage der wichtigsten Hydrothermalgänge (generalisiert) zwischen Wieden, Todtnauberg und der Badenweiler-Lenzkirch-Zone.

Die meisten Gänge liegen in der Paragneisserie des südlichen Zentralschwarzwald und verlaufen in N–S- und NNE–SSW-Richtung, d. h. parallel zum Oberrheingraben (n. METZ et al. 1957, SAWATZKI & HANN 2003). Gga = Aplitgranit.

Revier Eisenbach

Bei dem zwischen Neustadt und St. Georgen im Schwarzwald gelegenen Revier handelt es sich neben dem bei Neuenbürg um das zweite große Verbreitungsgebiet von Eisenerzgängen im Schwarzwald. Der Bergbau begann hier spätestens im 15. Jahrhundert. Die meisten der über 100 bekannten Eisen- und Manganerzgänge befinden sich bei Eisenbach und Vöhrenbach im oft stark zersetzten, durch seine rote Farbe auffallenden Eisenbach-Granit (Abb. 32). Einzelne Gänge reichen jedoch auch in die Arkosen und Sandsteine des Rotliegenden und des Buntsandsteins hinauf. Sie streichen in der Mehrzahl NW–SE bis NNW–SSE, sind einige Dezimeter mächtig und enthalten neben Hämatit und Manganerzen (vor allem Psilomelan) die Gangarten Quarz, Baryt, gelegentlich auch Fluorit und Calcit. Örtlich treten kupfer- und bleibetonte Sulfiderze sowie Scheelit und Uranminerale auf (FAISI 1951, KIRCHHEIMER 1953, BLIEDTNER & MARTIN 1986, WERNER et al. 1990). Der ungewöhnliche hohe Wolframgehalt (bis 1 %) ist an die Manganerze oder an Scheelit gebunden, der neben Eisenglanz auftritt. Leider gibt es in diesem Revier derzeit keinen guten Untertageaufschluss, jedoch erlauben gelegentliche Anschnitte in Baugruben Einblicke in die mehrphasige Entstehungsgeschichte dieser Mineralisationen (s. unten).

Revier St. Blasien

Unmittelbar südlich der Badenweiler-Lenzkirch-Zone, im großen Granitgebiet des Südschwarzwalds, sind Mineralgänge deutlich seltener. Nur im Gebiet südlich von St. Blasien treten mehrere in N–S-Richtung orientierte, oft lang aushaltende Gänge auf: Grube Hermann am Schwarzenbach oder an der Schwarzen Säge, Ruprechtgang bei Urberg, Brenden im Mettmatal, Igel-schlatt usw. Es handelt sich um Quarz-Fluorit-Barytgänge mit Karbonaten und Sulfiderzen, wobei Bleiglanz gegenüber den Fahlerzen, Zinkblende und Kupferkies deutlich vorherrscht. Im 20. Jahrhundert ging hier vor allem Fluoritbergbau um. Von größter Bedeutung war der fast

5 km lange, N–S verlaufende Ruprecht-Gangzug bei Urberg, auf dem die Grube Gottesehre bis 1987 baute. Der Gang verläuft im Nordteil im St. Blasien-Granit, im mittleren und südlichen Teil in Gneisanatexiten. Der meist zwischen 1 und 3 m mächtige, geradlinig verlaufende Gang weist ebenfalls drei Mineralisationsphasen auf (METZ 1980). Die Hauptmasse der Gangfüllung in der Grube Gottesehre besteht aus grauem bis grünlich-grauem Fluorit I, der im Wechsel mit Baryt I auftritt.

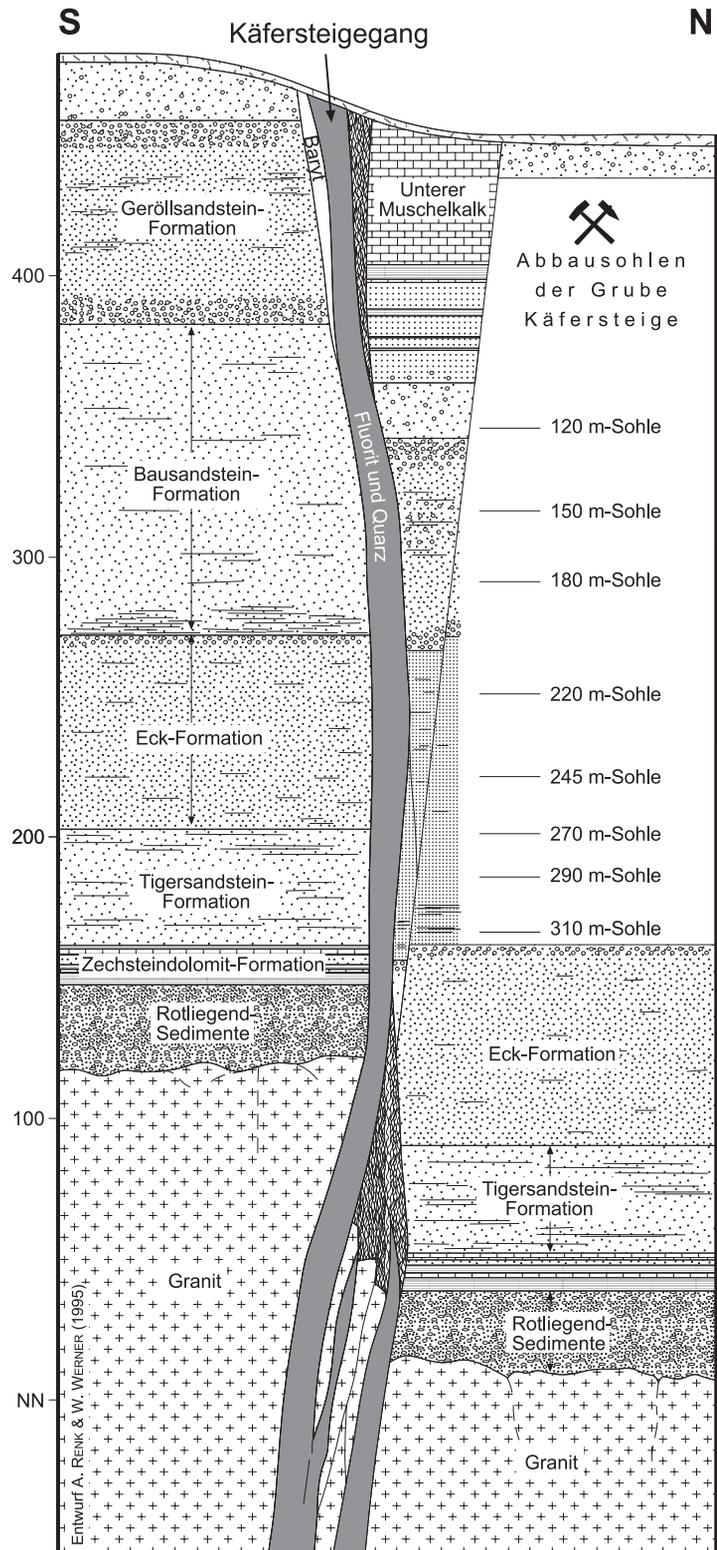
Im Südschwarzwald treten neben den o. g. gangförmigen Mineralisationen auch unregelmäßige, **nesterartige Sulfidvererzungen** auf, die an tektonische Scherzonen in hochmetamorphen, basischen Gesteinen gebunden sind. Zu nennen sind hier vor allem die nickelhaltigen Eisensulfidvererzungen in den Gneisanatexiten bei Horbach-Wittenschwand und bei Todtmoos-Mättle, die seit 1800 Gegenstand zahlreicher Bergbauversuche, vieler Spekulationen und einer mehrfachen, zumeist aber kurzzeitigen über- und untertägigen Gewinnung waren. Es handelt sich hierbei um linsenförmige, oft auch wolkig-diffuse Anreicherungen von Magnetkies, Pyrit-Markasit, Pentlandit und Kupferkies, die in serpentinierten Hornblende-Pyroxen-Biotit-Gesteinen auftreten (METZ 1980, SAWATZKI 1990, 2003).

Diese Vorkommen wurden zunächst zur Erzeugung von Vitriol, dann zur Nickelgewinnung und teilweise auch zum Serpentinabbau genutzt. Die komplizierten geologisch-tektonischen Verhältnisse dieser für den Schwarzwald recht exotischen Vorkommen können im „Hoffnungsstollen“ bei Todtmoos studiert werden (Kap. 5.13).

3.3 Lagerstättenbeispiele

Anhand von bedeutenden Lagerstätten, die bis in große Tiefen aufgeschlossen und geowissenschaftlich untersucht wurden, soll nachfolgend beispielhaft näher auf die Geologie und die Entstehung von Schwarzwälder Ganglagerstätten eingegangen werden:

- (1) Der Käfersteigegang bei Pforzheim (Flussspat, untergeordnet Schwerspat),
- (2) die Gänge der Grube Clara bei Oberwolfach (Schwerspat, Flussspat, untergeordnet Fahlerz) sowie die
- (3) Gänge zwischen dem Schwarzwaldrand bei St. Ulrich und dem Schauinsland bei Freiburg i. Br. (Fahlerz, Zink- und Bleierz). Die Grube Schauinsland wird zusammen mit dem Besucherbergwerk in Kap. 5.10 beschrieben.



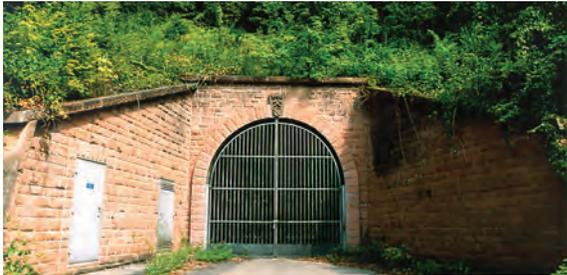
► **Abb. 57**
Geologischer Schnitt
durch den Käfersteigegang.

Bei diesem mächtigen und tiefreichenden Hydrothermalgang im Gebiet südlich von Pforzheim handelt es sich um die wahrscheinlich größte Anreicherung von Flussspat in Mitteleuropa.

3.3.1 Der Käfersteigegang im Nordschwarzwald

Bergbau auf der Grube Käfersteige

Wie im westlich benachbarten Revier Neuenbürg (Kap. 5.1) wurden im 19. Jahrhundert auch im Ausbissbereich des Käfersteigengangs (Abb. 57) zunächst die durch die Eisenspatverwitterung entstandenen Eisenerze abgebaut. Der moderne Bergbau war aber ausschließlich auf die Gewinnung von Fluorit und Baryt ausgerichtet. Mit dem Abbau dieser Minerale begann die 1933 gegründete Firma Fluss- und Schwerspatwerke Pforzheim Döppenschmidt & Co. KG im Jahr 1935. Im Zeitraum 1945–1955 fand aufgrund der Kriegsauswirkungen keine Förderung statt. Danach wurde der Bergbau von der Fluss- und Schwerspatwerke Pforz-



▲ **Abb. 58**
Portal der Würmtalrampe, Grube Käfersteige (2003).

heim GmbH betrieben, die 1961 auch den 1,5 km langen Würmtalstollen anlegte. In den Jahren 1987 bis 1989 folgte schließlich die Auf-fahrung der fast 2 km langen Würmtalrampe (Abb. 58). Am 25.09.1996 wurde der Bergbau beendet. Die Grube wurde aber so verwahrt, dass eine Wiederaufnahme technisch möglich ist. Ein Neuanfang wird aufgrund der seit 2003 deutlich gestiegenen Flussspatpreise derzeit in Erwägung gezogen. Wegen seiner für Hydrothermalgänge ungewöhnlichen Mächtigkeit, Tiefenerstreckung und Gleichförmigkeit stellt dieser Gang auch langfristig eine bedeutende Flussspatreserve für die Bundesrepublik Deutschland dar.

Die Förderung der Grube Käfersteige lag im Jahr 1989 bei jährlich 90 000 t Rohaufwerk, womit der Fluoritbedarf der damaligen Bundesrepublik Deutschland zu 20 % gedeckt werden konnte. Das Maximum der Förderung wurde im Jahr 1990 mit 115 000 t erreicht. Mit Beginn der 90er Jahre ging die Produktion auf 40–60 000 t



(A)



(B)

▲ **Abb. 59**
Bergbau auf der Grube Käfersteige.

(A) Lader im Vortrieb auf der 270 m-Sohle.

(B) Lader im Brecherraum auf der 290 m-Sohle (Aufnahmen 1990).

zurück. Aufgrund der günstigen Abbaubedingun- gen in einem mächtigen, weitgehend einheitlichen Mineralgang und der fortschrittlichen Mechanisierung unter Tage (Abb. 59) waren in den letzten Jahren des Grubenbetriebs nur mehr 18 Bergleute zur Aufrechterhaltung der Förderung angelegt. Insgesamt hat die Grube Käfersteige im Zeitraum 1935 bis 1996 fast 2 Mio. t Flussspathaufwerk mit einem verwertbaren Inhalt von ca. 1 Mio. t CaF_2 sowie 40 000 t Baryt gefördert.

Rohstoffverwendung

In der Zeit vor 1945 wurde der in der Grube Käfersteige abgebaute Fluorit vor allem zur Erzeugung von synthetischem Kryolith benötigt. Kryolith (chem. Na_3AlF_6 , „Eisstein“) wird als Lösungsmittel für Aluminiumoxid bei der Aluminiumerzeugung verwendet. Nach 1952 wurde der durch Flotation angereicherte sog. Säurespat zur Erzeugung von Flusssäure HF eingesetzt, die in der chemischen Industrie vor allem als Grundstoff für die Herstellung von Fluorkohlenwasserstoffen benötigt wurde. Außerdem wurde die Flusssäure zur Produktion von Herbiziden, für die Glas-, Keramik- und Metallverarbeitung, in der Erdölchemie und als Zusatzstoff in Zahnpflegemitteln eingesetzt. Nach Einschränkung der Produktion von FCKWs wurden Ersatzstoffe entwickelt, die statt Chlor mehr Fluor enthalten, wodurch zunächst die Erzeugung von Säurespat wieder anstieg. Nach Schließung der Grube Käfersteige ist die Grube Clara bei Oberwolfach im Mittleren Schwarzwald gegenwärtig der letzte Fluoritproduzent Deutschlands (Kap. 3.3.2).

Geologie und Mineralisation

Der Käfersteigegang verläuft mit ENE–WSW-Streichen (75 bis 80°) auf einer bedeutenden Störungszone im Grund- und Deckgebirge (Abb. 53 und 57). Er konnte bis zur Betriebsstilllegung im Jahr 1996 auf eine Länge von 1200 m und eine Tieferenstreckung von mindestens 400 m in vorwiegend bauwürdiger Mächtigkeit und Beschaffenheit nachgewiesen werden.

Die Mächtigkeiten schwanken zwischen 5 und 30 m, die mittlere Mächtigkeit liegt bei 12 m. Der Gesamthalt der Lagerstätte wird auf mehr als 5 Mio. t mit einem Fluoritanteil von 50 % geschätzt. Der geologische Schnitt von Abb. 57 verdeutlicht, dass der Gang in Oberflächennähe steil nach Norden einfällt und im Hauptabbaubereich zwischen der 120 m- und 310 m-Sohle seiger steht. Beim Übergang in das aus Granit bestehende Grundgebirge scheint er sich in mehrere Gangtrümer mit steilem südlichen Einfallen aufzuspalten.

In den 1930er Jahren bestand das Haufwerk aus dem Käfersteigegang aus rund 45–55 % CaF_2 , 20–40 % SiO_2 , 3–4 % Fe_2O_3 und 2–4 % BaSO_4 (METZ 1977), Anfang der 1990er Jahre, als der Abbau schon rund 300 m unter Tage vorgestoßen war, aus rund 50 % Fluorit und 50 % Quarz. Die Baryt-, Karbonat- und Erzgehalte betragen meist weniger als 1 %. Fluorit und Quarz bilden ein innig verwachsenes Mineralgemenge, das zumeist grau, z. T. grünlichgrau und grauviolett erscheint, daneben treten Baryt, Siderit und Dolomit auf (Abb. 60 und 61). An feinverteilten Sulfiden wurden Kupferkies, Pyrit, Emplektit, Wismutglanz, Kobaltglanz und Fahlerz nachgewiesen.

Der vorwiegend massige Gang grenzt zumeist entlang tonmineralreicher Störungsgesteine an rote Sandsteine des Buntsandsteins. Diese tonigen Störungsgesteine, die sog. Ruscheln, sind nach Altersdatierung der enthaltenen Illite im Zeitraum Oberjura–Kreide entstanden (BROCKAMP et al. 1994). Die tektonische Kartierung im Umfeld des Ganges, die während der Explorationsphase in den 80er Jahren durchgeführt wurde, zeigte, dass sich im Bereich der Lagerstätte herzynisch (WNW–ESE) streichende Störungen mit der Hauptstörung vergittern. Diese Strukturen gehen auf rechtsseitige Blattverschiebungen zurück. Buntsandsteinschollen sind an der Störung keilförmig eingebrochen, während sie an anderer Stelle sattelartig herausgewölbt sind. Dieser Wechsel von Kompressions- und Extensionsstrukturen ist typisch für laterale Bewegungen an Blattverschiebungen (Abb. 53).

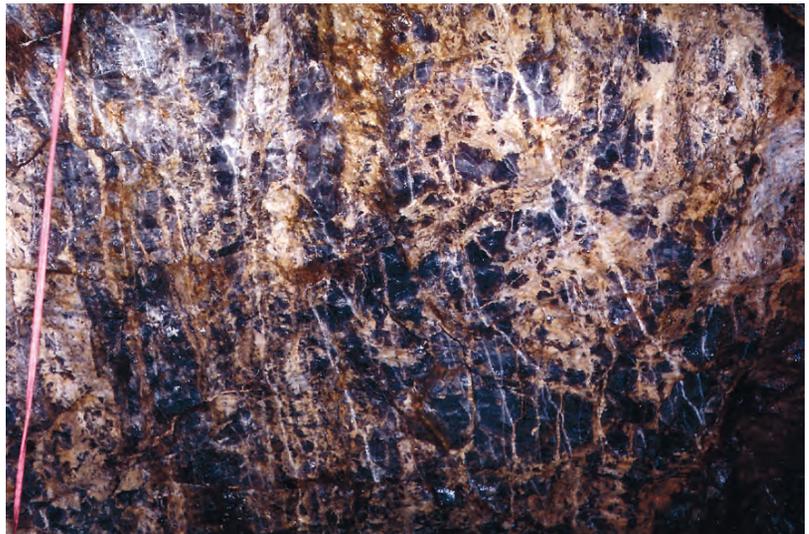


◀ **Abb. 60**
Grube Käfersteige:
Fluoritgang mit
Gangtrümmern.

Am durchschlagenden Gangtrum (Bildmitte) erfolgte eine linksseitige Blattverschiebung (Firstenbild, 290 m-Sohle).

▶ **Abb. 61**
Grube Käfersteige:
Gangbrekzie.

Bruchstücke von blaugrauem Fluorit in einer Grundmasse von fast weißem Quarz (240 m-Sohle).



Die hydrothermale Mineralisation des Käfersteigeganges erfolgte in drei Haupt- und mehreren Teilphasen. Nach A. RENK (pers. Mitteilung, 1995) wurde Fluorit in vier Phasen zusammen mit Quarz abgeschieden, Siderit folgte in der zweiten Hauptphase, ebenso Baryt. Chalcedon trat am Ende der zweiten Hauptphase erstmals auf, wurde im Schwerpunkt aber während der dritten und letzten Mineralisationsphase gebil-

det. Die zeitliche Stellung von Dolomit ist unklar (s. u). RENK konnte nachweisen, dass der Hauptfluorit (Phase I) sowie Quarz und Fluorit IIa bei Öffnung der ENE–WSW streichenden Gangspalte abgeschieden wurden; Quarz IIb und Fluorit IIb kristallisierten bei der Reaktivierung der Störung durch Blattverschiebungen auf WNW–ESE verlaufenden Spalten, wohingegen Fluorit IIc, Quarz IIc, Baryt, Siderit und Kupfer-

kies auf den jungen, Oberrheingraben-parallelen Spalten abgesetzt wurden. Eine von unterhalb der 240 m-Sohle abgeteufte Kernbohrung traf zwischen zwei Gangtrümmern aus Fluorit-Quarz und Fluorit-Dolomit-Siderit eine 20 m mächtige Sandstein-Granit-Brekzie in einer Dolomitmatrix an. Das lässt darauf schließen, dass Dolomit zu den ältesten Mineralisationen gehört. Geochemische Untersuchungen erbrachten, dass die Hydrothermen der Phasen I und II aus unterschiedlichen Quellen stammen (es also getrennte Zufuhren heißer Lösungen gab), wobei es während der zweiten Mineralisationsphase teilweise zu Umlagerungen des Altbestandes (Fluorit I) kam. Die Generation III scheint überwiegend durch Umlagerungen im Gangraum entstanden zu sein (MÖLLER et al. 1982).

Genese der hydrothermalen Mineralisation

Die abschnittsweise baryt- oder fluoritmineralisierten, steilstehenden Störungen im Deckgebirge und im granitischen Grundgebirge sind in Folge subhorizontaler Scherbewegungen entlang einer altangelegten, bedeutenden Störungszone aufgerissen. Diese ENE–WSW verlaufende tektonische Struktur wird als Baden-Baden–Lalaye-Zone bezeichnet (Abb. 53). Sie wird als Kollisionszone gedeutet, welche während der variszischen Gebirgsbildung, d. h. vor 350–340 Mio. Jahren, entstanden ist. An ihr fanden erst komplizierte Aufschiebungs- und später rechtsseitige strike-slip-Bewegungen statt (EDEL & WEBER 1995). An dieser tektonischen Zone wurden zwei Krustensegmente verschweißt, die unterschiedliche erdgeschichtliche Entwicklungen aufweisen. Dabei handelt es sich um das im Süden gelegene Moldanubikum, zu dem z. B. das Grundgebirge des Schwarzwalds, der Vogesen und des Bayerischen Waldes gehört, und das im Norden gelegene Saxothuringikum. Später wurde diese Kollisions- und Scherzone mit mächtigen Sedimenten von Perm und Trias überdeckt (Abb. 57).

Diese bedeutende Störungszone im Grundgebirge reagierte bei späteren tektonischen Beanspruchungen des Gebirges mit Bewegungen

entlang der alten Brüche, da sie eine ausgeprägte Schwächezone in der Kruste darstellt. Im Deckgebirge entstanden hierbei steilstehende Spalten, die bis an die Oberfläche reichen. Diese tektonischen Vorgänge resultierten in der Entstehung von Migrationspfaden für aufgeheizte Tiefenlösungen. Aus den aufsteigenden Lösungen schieden sich im betrachteten Raum Quarz, Chalcedon, Fluss- und Schwerspat sowie Eisen- und Mangankarbonate (Dolomit, Siderit, Ankerit, Rhodochrosit), außerdem etwas Hämatit sowie geringe Mengen an Kupfer-Wismut-Sulfiden ab.

Nach radiometrischen Altersdatierungen ist die umfangreichste Quarz-Fluoritmineralisation vom Typus Käfersteige im Zeitraum Oberjura bis Kreide gebildet worden (BROCKAMP et al. 1994, MEYER et al. 2000), während die jüngeren Schwerspatgänge und die Umlagerung von Fluorit sehr wahrscheinlich auf die tertiärzeitliche Tektonik in Zusammenhang mit der Hebung Süddeutschlands zurückgehen. Für die tektonisch und lagerstättengeologisch verwandten Gangmineralisationen bei Freudenstadt und Hallwangen wird ebenfalls von einer tertiärzeitlichen (obermiozänen) Entstehung ausgegangen. Der in Zwickeln zwischen den blättrigen Schwerspatkristallen vorkommende Fluorit II, der z. B. im Gang am Rittberg verbreitet ist, gehört ebenfalls in diese Zeit. RENK (in: MÖLLER et al. 1982) geht aufgrund der Entwicklung kartierbarer tektonischer Strukturen von einem obermiozänen Alter der Gangmineralisation aus. Mit der Kartierung sind jedoch lediglich die jüngsten Bewegungen entlang der altangelegten Strukturen zeitlich einzuengen. Plausibel erscheint die Schlussfolgerung von MEYER et al. (2000), wonach vor 145 Mio. Jahren, d. h. im höchsten Oberjura, durch das Eindringen von rund 200 °C heißen hydrothermalen Lösungen die Bildung von Illit und die Verkieselung des Nebengesteins erfolgte; anschließend (Zeit unbestimmt) kam es zur Fluorit-Quarzmineralisation. Vermutlich noch während des Jungtertiärs drangen ebenfalls ca. 200 °C heiße Lösungen ein. Bei diesem Ereignis kam es zur Umlagerung und zum Absatz von jüngem Quarz, Fluorit II und Baryt.

3.3.2 Die Fluss- und Schwerspattgänge der Grube Clara bei Oberwolfach im Mittleren Schwarzwald

Das derzeit einzige in Betrieb befindliche Bergwerk im Schwarzwald ist die Grube Clara im Rankachtal bei Oberwolfach (Abb. 62 und 63). In diesem Bergwerk werden mehrere Gänge abgebaut, welche sich zwischen dem Rankachtal und dem Hirschbachtal am Westabhange eines Höhenrückens (Gütschkopf–Königswald–Geißrücken) erstrecken. Die Anfänge des Bergbaus am früher als Benauer Berg bezeichneten Rücken sind sicherlich ins Mittelalter zu stellen, aber erst 1652 gibt es Urkunden, die von „tiefen alten Schächten“ berichten. 1726 wurden die alten Gruben erneuert, jetzt unter der Bezeichnung „Clara“, bei der Suche nach Kupfererzen aufgewältigt (Huck 1986). Der „Kinzigthäler Bergwerksverein“ führte im Jahr 1826 zunächst erfolglos Schürfarbeiten



▲ **Abb. 63**
Bergbau auf der Grube Clara.
Vortrieb auf dem Gang, Besetzen von Bohrlöchern.

Zum Schutz gegen Steinschlag werden im modernen Gangbergbau bei Bedarf im Vortrieb Stöße und Firste mit Stahlmatten und Spritzbeton gesichert.

auf Kupfer und Silber durch, begann aber dann 1850 auf zwei Sohlen mit dem Schwerspatabbau. Der Bedarf an lichtechten und chemisch stabilen Farbrohstoffen, den sog. Lithoponen, für die reinweiße Barytmehle benötigt werden, löste diese neue Bergbauphase aus. Aber erst mit der Gründung der Schwarzwälder Barytwerke im Jahr 1898 begann die erfolgreiche Bergbauaktivität. 1906 wurde die Schwerspattmühle auf das heutige Gelände in Wolfach verlegt. Die Barytwerke firmierten im Jahr 1926 um in die Firma Sachtleben, die 1970 zu einer 100 %-igen Tochterfirma der Metallgesellschaft AG (Frankfurt a. M.) wurde. Anfang der 70er Jahre stieg das Interesse an Fluorit, der in einer vom Schwespat getrennten Gangzone auftritt (Abb. 64). Eine Untersuchung von hangenden und liegenden Flussspattgängen, die in vom Schwespat getrennten Gangstrukturen auftreten, wurde 1976 begonnen. Seit der Inbetriebnahme der

◀ **Abb. 62**
Grube Clara bei Oberwolfach.

Portal des Rankachstollens, errichtet 1960 (Foto 2004).

Flussspatflotation im Jahr 1978 wird regelmäßig Fluorit auf der Grube Clara gewonnen.

Im Jahr 1980 wurde erstmals der Versuch unternommen, das im sog. Bänderspat (Abb. 65) vorkommende Fahlerz durch Flotation abzutrennen, um Silberkonzentrate herstellen zu können. Der Versuch wurde wegen zu geringem Ausbringen eingestellt. Ab 1996 wurde aus Teilen der Lagerstätte ein fahlerzreiches Roherz getrennt gefördert. Durch nachgeschaltete Flotationsschritte konnte ein verkaufsfähiges Silber- und Kupferkonzentrat angereichert werden. Zur Erinnerung an diese Silbergewinnung gab die Sachtleben Bergbau GmbH eine Gedenkmédaille heraus.

In der von der Firma Sachtleben Bergbau GmbH betriebenen Grube sind 45–50 Bergleute, Schlosser und Elektriker beschäftigt; zusammen mit der Aufbereitung in Wolfach, der Verwaltung und den mit dem Roherztransport beschäftigten Personen sind z. Zt. rund 95 Arbeitnehmer vom Grubenbetrieb abhängig.

Die Gänge werden mittels Sprengen im sog. Teilsohlenweiterungsbau abgebaut. Das Roherz wird über zwei mit LKWs befahrbare Rampen (Rankach- und Wogetsrampe) sowie über den Rankachstollen gefördert und in die 13 km entfernt liegende Aufbereitung in Wolfach transportiert. Die jährliche Schwerspatrohfförderung beträgt seit 1995 zwischen 64 000 und 110 000 t, die Rohfördermenge von Flussspat zwischen 60 000 und 95 000 t. Im Zeitraum 1900–2000 wurden rund 870 000 t Schwerspatkonzentrate und ca. 700 000 t Flussspatkonzentrate erzeugt.

Die topographisch höchsten Abbaue liegen bei ca. 800 m NN; der Gangbergbau hatte im Jahr 1983 die 12. Sohle auf 336 m NN erreicht, im Jahr 2000 bereits die 16. Sohle auf 145 m NN (Hauptsohlenabstand 40–50 m, Teilsohlenabstand 10–15 m); derzeit wird der Abbaubereich zwischen den Teilsohlen 14.1 und 15.2 vorge richtet (Abb. 64). Der Bergbau reicht somit zwischenzeitlich rund 700 m unter Tage.

Rohstoffverwendung

Die drei verschiedenen Rohstoffe der Lagerstätte, nämlich Schwerspat, Flussspat und Silberfahlerz, finden folgende Anwendungen:

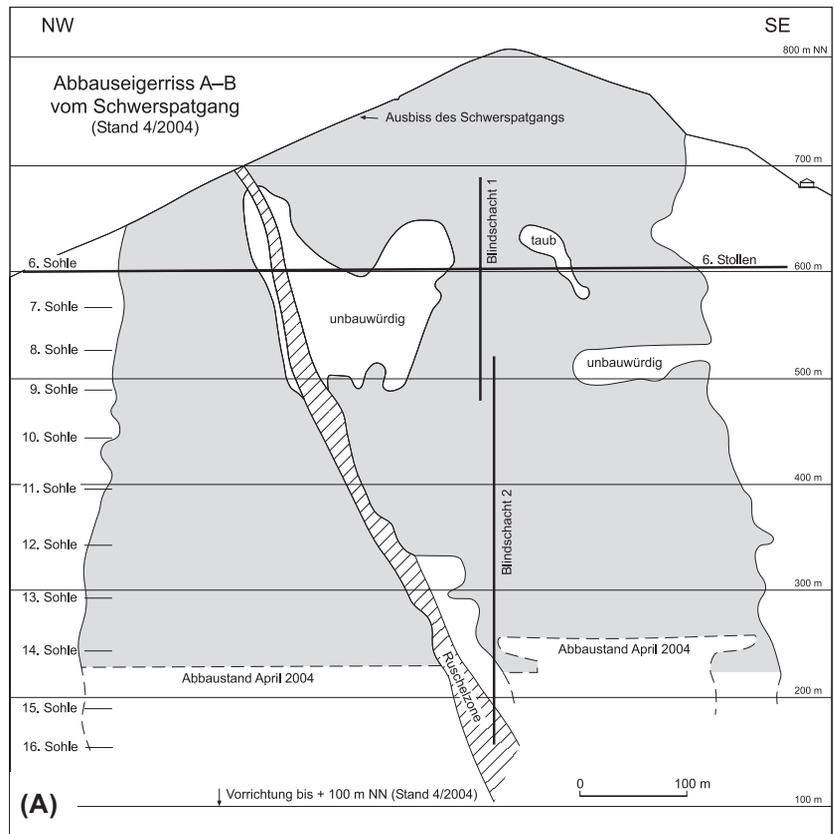
1. Schwerspatkonzentrat
Füllstoffe und Schallschutzmassen (textile Bodenbeläge, Automobilindustrie), Farbenindustrie (stabile Anstrichfarben, Lithopone), Papierindustrie (Barytpapier), chemische und Kunststoffindustrie (nicht brennbare Kunststoffe), Schwerbeton (strahlungsabsorbierend), Spachtelmassen, Dichteregulator für Bohrspülungen (Erdöl-/Erdgasbohrungen), Trinkwasserreinigung (Sulfatreduktion), medizinische Diagnostik (Kontrastmittel); für weitere Erläuterungen s. HAHN et al. (1999).
2. Flussspatkonzentrat
Chemiespat, Trocken- und Säurespat. Das Konzentrat mit >97% CaF_2 wird zur Flusssäureherstellung verwendet, Erzeugung von synthetischem Kryolith Na_3AlF_6 zu Zwecken der Aluminiumgewinnung aus Bauxit, Metallurgie (Flussmittel für die Schlacke bei der Erzverhüttung – daher der Name!), Keramik (Glasuren, Email), Glasindustrie, Schweißtechnik, Pflanzenschutzmittel, Zahnpasta.
3. Erzkonzentrat
Silber- und Kupfergewinnung (zur Silberverwendung s. Kasten in Kap. 3.2, S. 50).

Geologie und Mineralisation

Die überwiegend NW–SE streichenden Gänge der Grube Clara setzen in lagig-flaserigen bis bankigen, metatektischen Plagioklas-Biotit-Paragneisen des Zentralschwarzwälder Grundgebirges auf, die zahlreiche Einschaltungen von Amphiboliten und hellen Gneisen enthalten. Die Gneisfoliation streicht überwiegend NE–SW, ebenso die Faltenachsen, also etwa senkrecht zu den Hydrothermalgängen. Die Gänge durchschlagen teilweise auch die Sandsteine des Unteren und Mittleren Buntsandsteins (HUCK 1986). In den heutigen Tiefenaufschlüssen auf der 700 m-Sohle nimmt die Anzahl der granitartigen Metatekte stark zu.

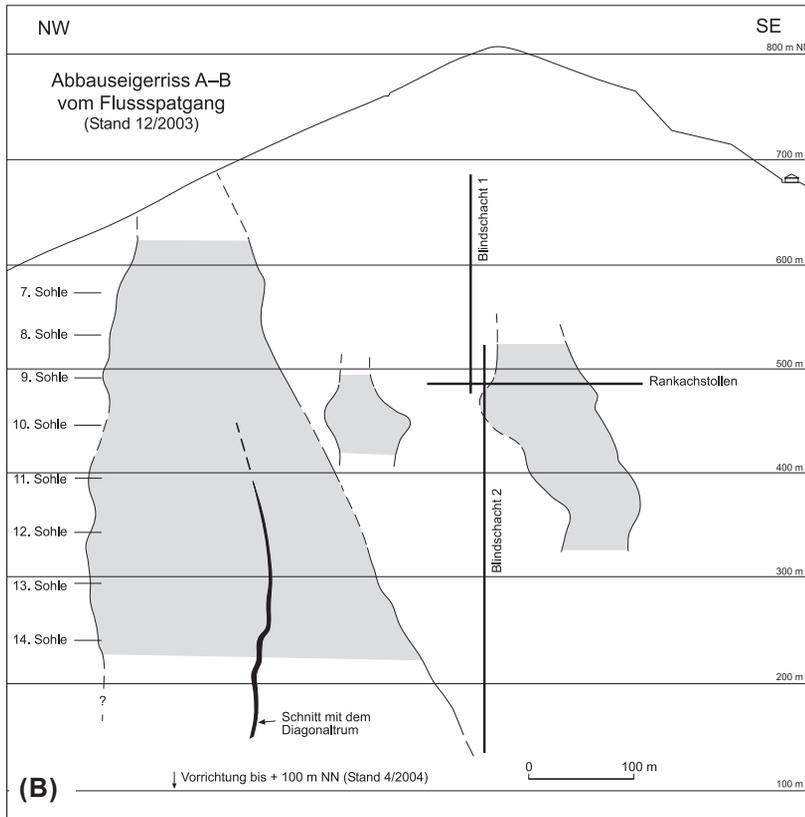
Die kontrollierenden tektonischen Elemente sind E–W verlaufende Scherzonen, welche die Gänge im Süden und Norden einrahmen. Die bekannteste ist die Friedrich-Christian-Herrensegen-Störungszone im Norden, die in den östlich gelegenen Gruben Friedrich-Christian und Herrensegen wegen ihrer nesterartigen Blei- und Kupfervererzungen aufgeschlossen wurde (Abb. 33). Diese Scherzone ist im Bereich der Grube Clara nicht vererzt, wohl aber die wahrscheinlich von ihr ablaufenden Diagonaltrümer (s. unten).

Von Bedeutung für die Gangentwicklung ist auch eine NE–SW gerichtete, ca. 20 m breite Ruschelzone, die bereits vor der Öffnung der ältesten Hydrothermalgänge der Grube (Fluoritgänge) vorhanden war, da diese mit Annäherung auf die tonig-lettigen Ruschelgesteine ausdünnen und an ihr auskeilen. Analoge Verhältnisse wurden auch auf den Gruben Segen Gottes bei Schnellingen, Wenzel, Caroline, Schauinsland und Teufelsgrund angetroffen (Kap. 5.6 bis 5.11), weshalb die radiometrische Datierung der illitreichen Ruschelgesteine von großer genetischer Bedeutung ist (die Gänge sind jünger). BONHOMME et al. (1983) ermittelten Alter zwischen 184 und 196 Mio. Jahren an Illiten aus dem Fluoritgang der Grube Clara. An Illiten aus dem Salbandbereich des Schwerspatganges fand BONHOMME ein Alter von 188 Mio. Jahren (zitiert in: HUCK 1984, S. 147). Auch in anderen Lagerstätten wurden die Illite aus gangbegleitenden Letten oder aus Ruschelgesteinen geochronologisch datiert, und auch dort stellte man fest, dass diese Störungen während des Mesozoikums (zumeist



zwischen Unterjura und Kreide) aktiviert wurden (Kap. 3.4).

Von bergmännischer Bedeutung sind der im Westen gelegene, fast 600 m lange und mehrere Meter breite, NW–SE verlaufende Schwerspatgang und die davon östlich gelegenen parallel streichenden Flussspatgänge (Abb. 64). In der **Flussspatgangzone** treten mindestens fünf Fluoritgänge mit Mächtigkeiten über 1 m auf, weitere mit Mächtigkeiten um 0,5 m und viele schmale Trümer (pers. Mitteilung K. H. HUCK). Besonders in den oberen Gangabschnitten sind diese Gänge z. T. sehr schwerspatreich. Die durchschnittliche Gangmächtigkeit in den Abbauereichen liegt zwischen 2 und 4 m. Im heute weitgehend verfüllten Tagebau erreichten diese Gänge Mächtigkeiten um 10 m; begleitende schmalere Schwerspatgänge stehen heute noch an (Abb. 31). Mit Annäherung an die Haupt-



◀ **Abb. 64**
Fluss- und Schwerspatgänge
der Grube Clara.

Abbaueigerrisse
 (A) vom Schwerspatgang
 und
 (B) vom Flussspatgang.

Grundlage: markscheiderische
 Aufnahmen der Sachtleben
 Bergbau GmbH, Lennestadt.

scherstruktur der Friedrich-Christian-Herrensegen-Störungszone fiedern die Fluoritgänge so stark auf, dass sie hier als dünne Gängchen auf einer Breite von 50 m auftreten. Etwa ab der 7. Sohle aufwärts scharen zahlreiche Fluoritgänge bogenförmig von der steil nach NE einfallenden Hauptgangstruktur ab und gehen im Bereich der Buntsandsteinauflage in fast söhliche Lagerung über. Dies zeigt, dass bei der Bildung der Fluoritgänge eine unmittelbare Abhängigkeit zwischen der Ganggeometrie und der rasch abnehmenden Gesteinsauflast bestand. Die Fluoritmineralisation muss also zu einem Zeitpunkt erfolgt sein, als (noch oder dann nach Abtragung wieder) eine geringe Mächtigkeit der überlagernden Sedimente zu verzeichnen war, in deren Porenräume hydrothermale Lösungen eindringen und mineralisierten (pers. Mitteilung K. H. Huck). Da die Fluoritgänge vom Schwerspatgang durchschlagen werden, ist belegt,

dass letztgenannter jünger ist. Zum anderen durchschlägt der Schwerspatgang im Gegensatz zum Flussspatgang diskordant die Sedimente des Unteren und Mittleren Buntsandsteins. Beide Gangtypen wurden bei dextraler Blattverschiebungstektonik auf den einrahmenden Scherzonen geöffnet (Huck 1984, 1986).

Der **Schwerspatgang** (Abb. 64), auch als „Clara-Gang“ bekannt, verläuft subparallel zu den älteren Fluoritgängen und fällt ebenfalls steil nach NE ein. Er erreicht in steilen Abschnitten Mächtigkeiten von 6–10 m, maximal sogar von 12 m, in flacher einfallenden Gangabschnitten gehen die Mächtigkeiten rasch zurück (Huck 1984). Im Mittel weist der Barytgang Mächtigkeiten zwischen 3 und 4 m auf. Er besteht durchschnittlich aus 70–80 % Baryt, 10–20 % Fluorit und 5–20 % Quarz sowie einigen Prozenten an anderen Mineralen und Nebengesteins-

einschlüssen. Aufgrund der engen Verwachsung des Baryts mit den anderen Mineralen und eingemengten Nebengesteinskomponenten kann etwa ein Drittel der Roherzförderung aus dem Schwerspatgang nicht verwertet werden. Die teilweise auftretende Erzbänderung im Schwerspat (Abb. 65) besteht aus eng verwachsenem Kupferkies und Fahlerz. Auf feinen Rissen in den Erzen treten selbständige Silbererze wie Akanthit auf.

Schwerspatgänge durchschlägt und diese bis zu 20 m weit rechtsseitig versetzt (HUCK 1984). Die Mächtigkeit schwankt zwischen 0,5 und 6 m.

Die Gänge der Grube Clara weisen eine ungewöhnlich große Zahl an Mineralen auf; bislang konnten über 340 verschiedene nachgewiesen werden (z. B. BAYERL 2001). Berühmt sind die Gänge auch wegen ihrer schönen und großen



◀ **Abb. 65**
Gangaufschluss
auf der Grube Clara.

Schwerspatgang mit Fahlerz-
bänderung, sog. Bänderspat
(Sohle 9.1).

Wirtschaftlich unbedeutend sind die steil- bis flachherzynisch anschauenden sog. Rotspatgänge, die aus rötlich gebändertem und gelblichem Baryt bestehen, der meist mit eisenreichen Karbonaten verwachsen ist. Diese Gänge werden nur selten bis 2 m mächtig.

Das sog. Diagonaltrum, das während der jüngsten Mineralisationsphase gebildet wurde (s. unten), ist sehr quarzreich. Dieser Gang erlangte in den letzten Jahren zunehmend wirtschaftliche Bedeutung, da der Anteil an Fluorit und Baryt mit der Teufe deutlich zunahm. Es handelt sich um eine ESE–WNW gerichtete Scherstruktur, die unmittelbar südlich der Hauptscherzone Friedrich-Christian-Herrensegen die Fluss- und

Kristallaggregate in Drusen, von denen die klaren oder violetten Flusspatwürfel und die als Meißelspäte bezeichneten jungen Barytkristalle am bekanntesten sind (Abb. 37 und 240). An hydrothermal gebildeten Primärmineralen treten neben Quarz vor allem Schwerspat BaSO_4 , Flusspat CaF_2 sowie Sellait MgF_2 auf, untergeordnet sind Karbonate und silberhaltige Fahlerze, Kupferkies, Bleiglanz, in der frühen Silifizierungsphase auch Pyrit und Hämatit. Das massenhafte Auftreten von Sellait ist weltweit einmalig.

Wie auf allen anderen Ganglagerstätten Europas kam es im Bereich der Grube Clara während langer geologischer Zeiträume zu einer

mehrfachen Öffnung der Störungsstrukturen und einer begleitenden charakteristischen hydrothermalen Mineralisation.

Ganz typisch für den Schwarzwald ist hierbei:

- die intensive Silifizierung des Störungssystems bereits zu spätvariszischer Zeit und die zugehörige Bildung einer brekziösen Quarz-Pyrit- bzw. Quarz-Hämatit-(Baryt-)mineralisation⁶,
- die Bildung breiter Ruschelzonen aus tonigen Kataklasten,
- die Reaktivierung des gesamten Störungssystems und
- die begleitende vierphasige hydrothermale Gangmineralisation mit den Hauptmineralen Quarz, Fluorit und Baryt sowie untergeordnet Karbonaten und Pb-Fe-Cu-Sulfiden.

Insgesamt können folgende **Mineralisationsphasen** unterschieden werden (n. HUCK 1984, 1986, stark vereinfacht):

1. Alteration der Nebengesteine und Silifizierung (Quarz-Pyrit-Hämatit); diese ältesten Hydrothermalbildungen, charakterisiert durch die typischen hämatitführenden Hornsteinquarze, entstanden nach Uran/Helium-Datierung vor 290 Mio. Jahren (LIPPOLT und Mitarbeiter, unveröff., pers. Mitteilung HUCK).
2. Fluorit-Hauptphase: Entstehung der Flussspatgänge (Quarz-Fluorit-Sellait); der während der ersten Hauptphase gebildete Sellait geht wahrscheinlich auf eine Verdrängung der ersten Fluoritsubgeneration durch Mg-reiche Lösungen zurück (MAUS et al. 1979).
3. Schwerspat-Hauptphase: Entstehung des Schwerspatganges, Reaktivierung der Flussspatgänge (Baryt, Fluorit und Erze).
4. Schwerspat-Zwischenphase: Bildung von zahlreichen Trümmern in der gesamten Lagerstätte (Baryt, Karbonate, Fluorit und Erze, Fe-Mn-Oxide); sie leitet die Quarz-Hauptphase ein.

5. Quarz-Hauptphase: Bildung des Diagonaltrumes (Quarz, Fluorit, Baryt, Erze); aufgrund paragenetischer Ähnlichkeiten nimmt HUCK (1984) an, dass die Mineralisation auf der Scherstruktur Friedrich-Christian-Herrensegen zeitlich und kinematisch mit der Quarz-Hauptphase zu parallelisieren ist.

Jede dieser tektonischen und hydrothermalen Hauptphasen lässt sich in drei bis vier Subphasen untergliedern, wobei sich jede tektonische Subphase durch eine charakteristische Paragenese auszeichnet.

Genese der hydrothermalen Mineralisation

Grundvoraussetzung für die Bildung der Hydrothermalgänge waren – wie auf allen großen Ganglagerstätten im Schwarzwald – die Existenz spröde brechender Gesteine und die Nähe zu bedeutenden tektonischen Scherstrukturen wie der Friedrich-Christian-Herrensegen-Scherzone, die bei tektonischer Reaktivierung zur Öffnung von Segmenten auf begleitenden Störungsstrukturen führen. Bei strike-slip-Störungen (Blattverschiebungen) entstehen sog. Riedel-Scherflächen (Riedel shears), die je nach Bewegungsrichtung auf der Hauptscherzone von dieser in einem spitzen Winkel nach links oder rechts ablaufen. Im Falle der Gänge der Grube Clara ereigneten sich auf altangelegten E–W gerichteten Scherzonen rechtsseitige Blattverschiebungen, was zur Entstehung von NW–SE streichenden (Riedel-)Störungen führte (vgl. Abb. 174). Wie zuvor ausgeführt, verläuft der Lagenbau der Gneise in NE–SW-Richtung, also senkrecht zu den Gangstrukturen. Aufgrund dieser Gesteinsanisotropie (d. h. des unregelmäßigen Strukturbaus der Paragneise) verlaufen die Gangstörungen stark kurvig gebogen; so konnten sich bei fortgesetzter Scherung Segmente dieser Riedel-Scherflächen öffnen.

⁶ Eine sehr ähnliche Quarz-Pyrit-Hämatitmineralisation (charakteristischerweise eine sehr feinkörnige Quarzmineralisation = Hornstein, oft mit Antimon, Wolfram und Uran), die vor den Baryt-Fluoritgängen abgeschlossen wurde, ist auch im Erzgebirge weit verbreitet. Sie wird dort sowohl den spätvariszischen als auch den frühen postvariszischen Hydrothermalgängen zugeordnet (vgl. BAUMANN et al. 2000).

Diese Scherbrüche haben die Eigenschaft, dass sie tief in das Grundgebirge hinab reichen können und damit Stockwerke anschneiden, in denen heiße Lösungen unter hohem Druck stehen. Diese wandern nun in die Unterdruckzonen der Störungen ab. Brüche, die mit unter Druck stehenden Lösungen gefüllt werden, können sich in der Folgezeit aufgrund der starken Herabsetzung der inneren Reibung rasch entwickeln (zur Herkunft der Lösungen und zur Abscheidung der Minerale vgl. Kap. 3.4).

Der Lagerstättenbereich ist durch eine ausgeprägte Alteration, also eine chemische und mineralische Veränderung der Gesteine, gekennzeichnet. Dies ist auf den Einfluss von Lösungen zurückzuführen, die entlang von Trennbrüchen wiederholt und über lange geologische Zeiträume hinweg zirkulieren. MAAG (1991) untergliedert diese präfluoritische Alteration nach den dabei neu gebildeten Mineralen zeitlich in eine frühe Mg-Chlorit- und eine anschließende Fe-Chlorit-Subphase, eine Serizit-Pyrit-Subphase und eine Eisenoxid-/hydroxid-Phase mit Hornsteinquarz bzw. Chaledon. In der Serizit-Pyrit-Subphase wurde auch Adular neu gebildet, den LIPPOLT et al. (1986) auf 270 Mio. Jahre datieren konnten. Diese Ereignisse würden demnach in die Zeit der Rotliegend-Magmatite fallen, die durch eine im Schwarzwald weitverbreitete Verkieselung, d. h. feinkörnige Verquarzung (Abb. 17 und 21) und Hornsteinbildung, sowie Hellglimmersprossung gekennzeichnet ist. Anschließend, also im Zeitraum der klastischen Ablagerungen auf dem Grundgebirgssockel (terrestrisches Zechstein bis Untere Trias), kam es im Deckgebirge zur weiteren Verkieselung und ersten Fluoritmineralisation.

Wie zuvor ausgeführt, reichen die ältesten Gänge (Quarz-Fluorit-Sellait) bis in den Unteren Buntsandstein hinauf; sie müssen also jünger oder zeitgleich in Bezug auf die klastischen Sedimente des Buntsandsteins sein. Sie können im Zeitraum Buntsandstein bis Jungtertiär entstanden sein. Aufgrund von Korngefügen im hydrothermal verkieselten Sandstein nehmen GERLER (1983) und MAAG (1991) an, dass eine

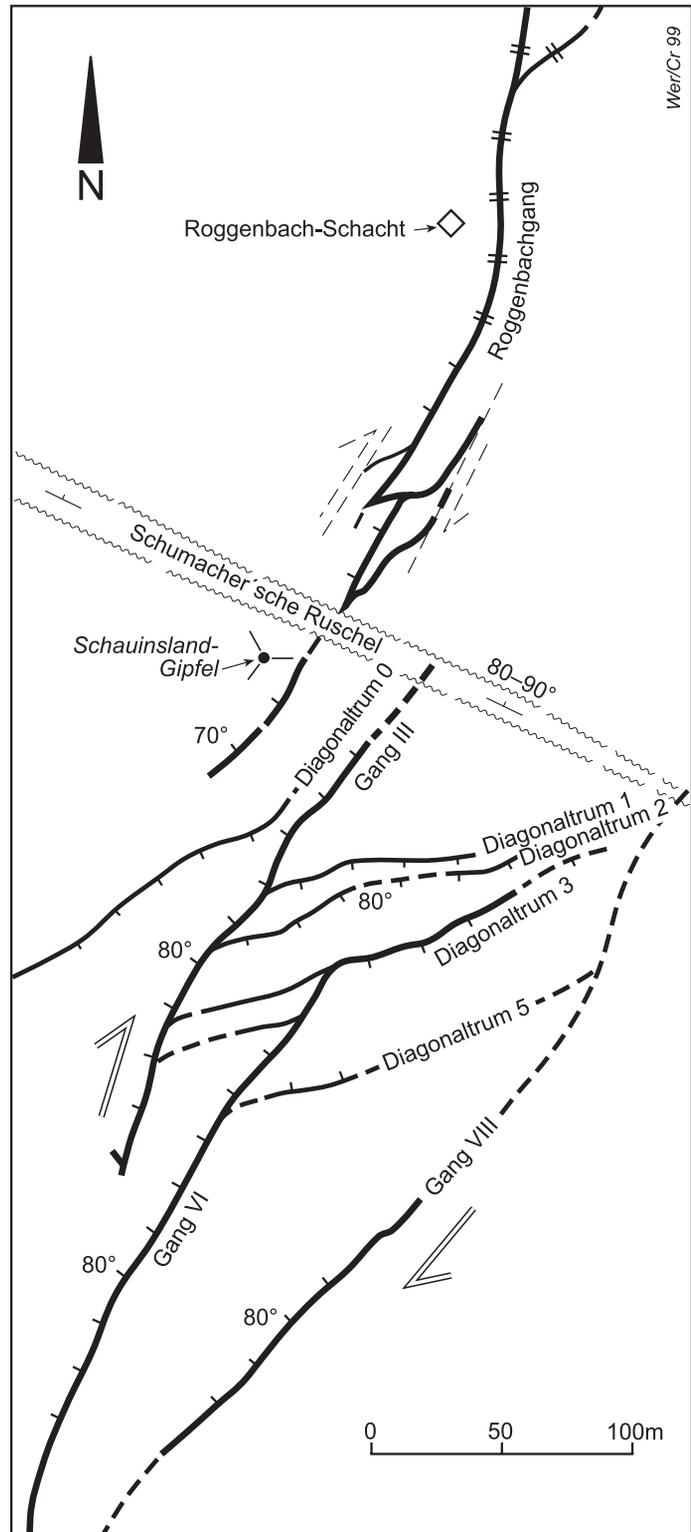
Quarz-Fluoritmineralisation im Porenraum der Sandsteine schon während und früh nach ihrer Ablagerung stattfand. Offen ist, ob diese mit der Entstehung der Fluoritgangzone im Grundgebirge zeitlich zu parallelisieren ist oder ob es sich um unabhängige frühere Verkieselungsvorgänge handelt, die lediglich günstige Voraussetzungen für die spätere Lagerstättenbildung geschaffen haben. Letztgenanntes Modell hält HUCK (pers. Mitteilung) für wenig wahrscheinlich, da er bereits 4 m unterhalb der Sedimentbasis die ersten Sellaitgänge nachweisen konnte. Er geht davon aus, dass die erste Flussspatmineralisation an der Wende Zechstein/Buntsandstein entstanden ist.

Gesichert ist, dass das stark gestörte und tiefgreifend alterierte Lagerstättengebiet in der Folgezeit mehrfach tektonisch reaktiviert wurde, wobei es zunächst zur Ruschelbildung (vermutlich Jura–Kreide, s. oben), dann zur Bildung weiterer, heute wirtschaftlich bedeutsamer Mineralgänge kam. Wahrscheinlich reicht die hydrothermale Mineralisation bis in das Jungtertiär, in dem sich auf den meisten hier behandelten Lagerstätten umfangreiche Stoffumsätze und Mineralgangbildungen ereignet haben (Kap. 3.4 und Kap. 5).

3.3.3 Die Erzgänge am Schauinsland und bei St. Ulrich im Südlichen Schwarzwald

Aufgrund ihres hohen Zinkerzanteils herausragend für den Südschwarzwald sind die Erzgänge des Schauinslands bei Freiburg (ausführliche Beschreibung in Kap. 5.10). Ebenso wie in der Lagerstätte der Grube Clara handelt es sich um ein System zusammengehöriger, steil stehender Hydrothermalgänge, die zunächst dextral, später (hier postmineralisch) sinistral bewegt wurden. Die Gänge gehören alle demselben Schersystem an, weshalb sie alle miteinander in Verbindung stehen (Abb. 66). Wie bei Oberwolfach führten die präexistenten Ruscheln zum Auskeilen oder zumindest zum

deutlichen Ausdünnen der Gänge. Die Zusammensetzung und Mächtigkeit der Gänge änderten sich mit der Tiefe kaum. Die Verdrängungserscheinungen durch jüngere, kiesel-säurereiche Lösungen sind auf den einzelnen Gängen unterschiedlich ausgeprägt. Der ältere Flusspat wurde vollständig aufgelöst, Calcit tritt nur noch in Gang II in größeren Mengen auf.



► **Abb. 66**
Grube Schauinsland:
Verlauf der Erzgänge.

Grundrissliche Darstellung der Erzgänge im Niveau der Kapplersohle. Die Gangspalten sind bei rechtsseitiger Blattverschiebung (Bewegungspfeile) auf einer zum Oberheingraben parallel verlaufenden Störungszone aufgerissen.

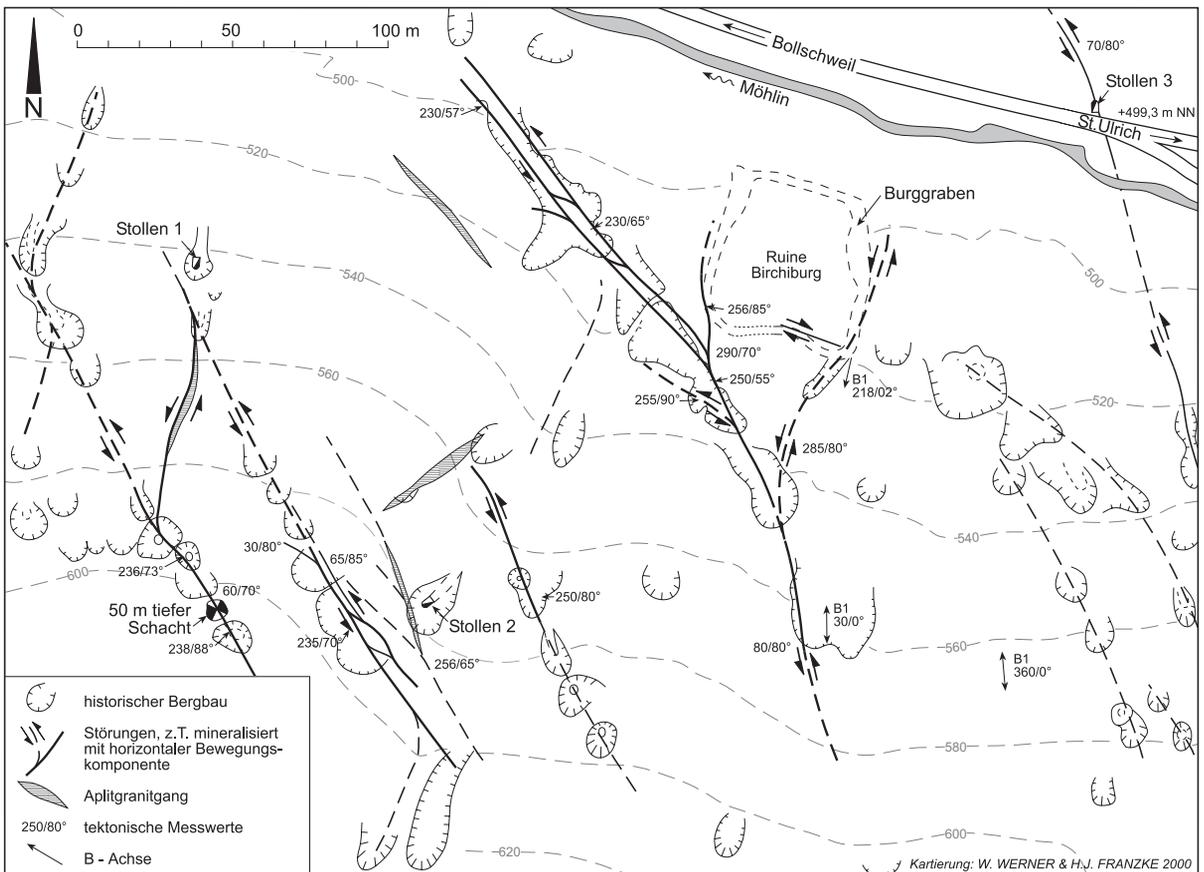
Grundlage der Darstellung sind geologische Kartierungen sowie die markscheiderischen Aufnahmen der Stolberger Zink AG bis 1954.

Die NW–SE streichende Schar hydrothermaler Gänge am Birkenberg bei St. Ulrich (Abb. 67), nur wenig südwestlich vom Schauinsland gelegen, gehört zur Gruppe der Quarz-Kies-Fahlerz-mineralisationen (SCHÜRENBERG 1957). Auf zahlreichen schmalen Hydrothermalgängen kurzer lateraler Erstreckung treten in einer Gangart aus milchig-weißem, meist derbem Quarz sowie untergeordnet aus Schwerspat, Eisenspat und Dolomit folgende Erze auf: (1a) Antimonfahlerz Tetraedrit, (1b) Pyrit, (2) Bleiglanz, (3) Arsenkies, (4) Zinkblende, (5) Kupferkies, (6) Tennantit und edle Silbererze (SCHIFER 1999).

Drei Mineralisationsabfolgen können hier wie auch in den Gangrevieren im Untermünstertal, am Schauinsland und im Revier Freiamt–Sexau unterschieden werden. In der ersten Phase

kam es zur intensiven Verkiezelung der Gneise. Nach starker Gesteinsbrekzierung erfolgte besonders während der zweiten Phase in einer Grundmasse von Quarz der Absatz der Cu-Sb- und Pb-Sulfide (mit Ag), die stets von feinkörnigem Pyrit und Arsenkies begleitet werden. Die dritte Phase begann oft mit der Abscheidung gröberkörniger Erze, besonders Zinkblende und Bleiglanz, ist aber deutlich erzärmer als die Phase II.

Zwischen der Phase I und II scheint es zur Bildung von Schwerspat und Fluorit gekommen zu sein. Letzterer ist aber völlig durch Quarz II verdrängt worden, nur millimetergroße, würfelige Pseudomorphosen zeugen von seiner ehemaligen Existenz. Dadurch werden die Ähnlichkeiten mit der Vererzung am Schauinsland deutlich.



Bereits in Handstücken lässt sich eine dreifache Quarzmineralisation und Brekzierung erkennen. Das Zerbrechen der jeweils älteren Quarzabscheidung dürfte vor allem auf den Fluiddruck in den Gangspalten zurückzuführen sein (hydraulic fracturing) und weniger auf unmittelbare tektonische Einwirkungen. Die erste SiO_2 -Zufuhr führte zur intensiven „hornsteinartigen“ Verkieselung der Gneise. Die dadurch sehr spröden Gesteine konnten leicht erneut zerbrechen und hohen effektiven Porenraum für nachdringende hydrothermale Lösungen bieten. Die zweite Quarzmineralisation ist nach Handstücken vom Birkenberg besonders reich an feinkörnigen Erzen, wobei mattglänzende Fahlerz-Bleiglanz-Pyrit-Arsenkies-Quarzverwachsungen vorherrschen. Die dritte Phase ist durch den grobkörnigen, meist erzarmen Quarz mit zahlreichen idiomorphen Kristallen gekennzeichnet. In dieser Phase scheinen sich die grobkörnigen Erze Zinkblende und Bleiglanz zu häufen, die besonders in Säumen um die Bruchstücke von Quarz Ib (2. Phase) auftreten.

Der Ausbissbereich der Gänge von St. Ulrich liegt rund 600–700 Höhenmeter tiefer als jener der Gänge am Schauinsland. Da die Erzgänge am Schauinsland zur Tiefe hin quarzreicher werden, ist durchaus vorstellbar, dass die Gänge bei St. Ulrich den sog. Quarzwurzeln der spatreichen Gänge entsprechen. Die NW–SE streichenden Gangschwärme von St. Ulrich sind ebenfalls durch Scherung auf altangelegten Störungen in den Gneisen und Anatexiten entstanden. Die Öffnung der Gangspalten erfolgte allerdings durch sinistrale Blattverschiebungstektonik. Anders als am Schauinsland verlaufen die variszischen Störungen, die im Tertiär erneut mineralisiert wurden, spitzwinklig zur Foliation

der Gneise. Die Spalten konnten sich somit weniger weit öffnen – die Gänge erreichten daher nur vergleichsweise geringe Mächtigkeiten.

3.4 Zur Entstehung der Erz- und Mineralgänge

Zuvor wurde ausgeführt, dass die meisten Vererzungen im Schwarzwald hydrothermalen Natur sind. Daher soll hier auf die Entstehung dieser störungsgebundenen, gangförmigen Mineralisationen eingegangen werden. Die Bildung der magmatisch-metamorphen nickelhaltigen Erzvorkommen von Todtmoos und Horbach im Südschwarzwald wird in Kap. 5.13 erläutert.

Bei den als Erz- und Mineralgänge bezeichneten Gesteinskörpern handelt es sich um Mineralabsätze aus heißen wässrigen Lösungen, welche die durch tektonische Beanspruchung aufgerissene oberste Erdkruste zu unterschiedlichen erdgeschichtlichen Perioden durchwanderten. Wie die auch heute noch in der Kruste zirkulierenden Lösungen, die unterschiedliche Mengen verschiedener Metallionen, Salze und Kohlenwasserstoffe enthalten, stammen sie einerseits aus den feinen Poren und Rissen im Gestein, in welchen sie über lange Zeiträume eingeschlossen waren und durch tektonische Bruchbildung und dadurch verursachter lokaler Druckentlastung „befreit“ und mobilisiert wurden. Andererseits handelt es sich um Wasser, die aus den neben den Grundgebirgsauftragungen befindlichen Sedimentbecken (wie der Oberrheingraben) stammen und ferner um solche, die direkt von der Erdoberfläche ins Gebirge eindringen konnten (Abb. 68).

◀ Abb. 67 Bergbaugesamt Birkenberg bei St. Ulrich.

Die rasche Hebung und Erosion am Schwarzwaldrand im Gebiet bei St. Ulrich (Südschwarzwald) führte zur teilweisen Freilegung zahlreicher NW–SE streichender Quarzgänge mit silberhaltigen Sulfiderzen. Die Spalten sind bei linksseitiger Scherung aufgerissen. Die zahlreichen Bergbauspuren und die mitten im Revier liegende Bergbauburg Birchiburg wurden vom Institut für Ur- und Frühgeschichte der Univ. Freiburg untersucht (vgl. Kap. 2).

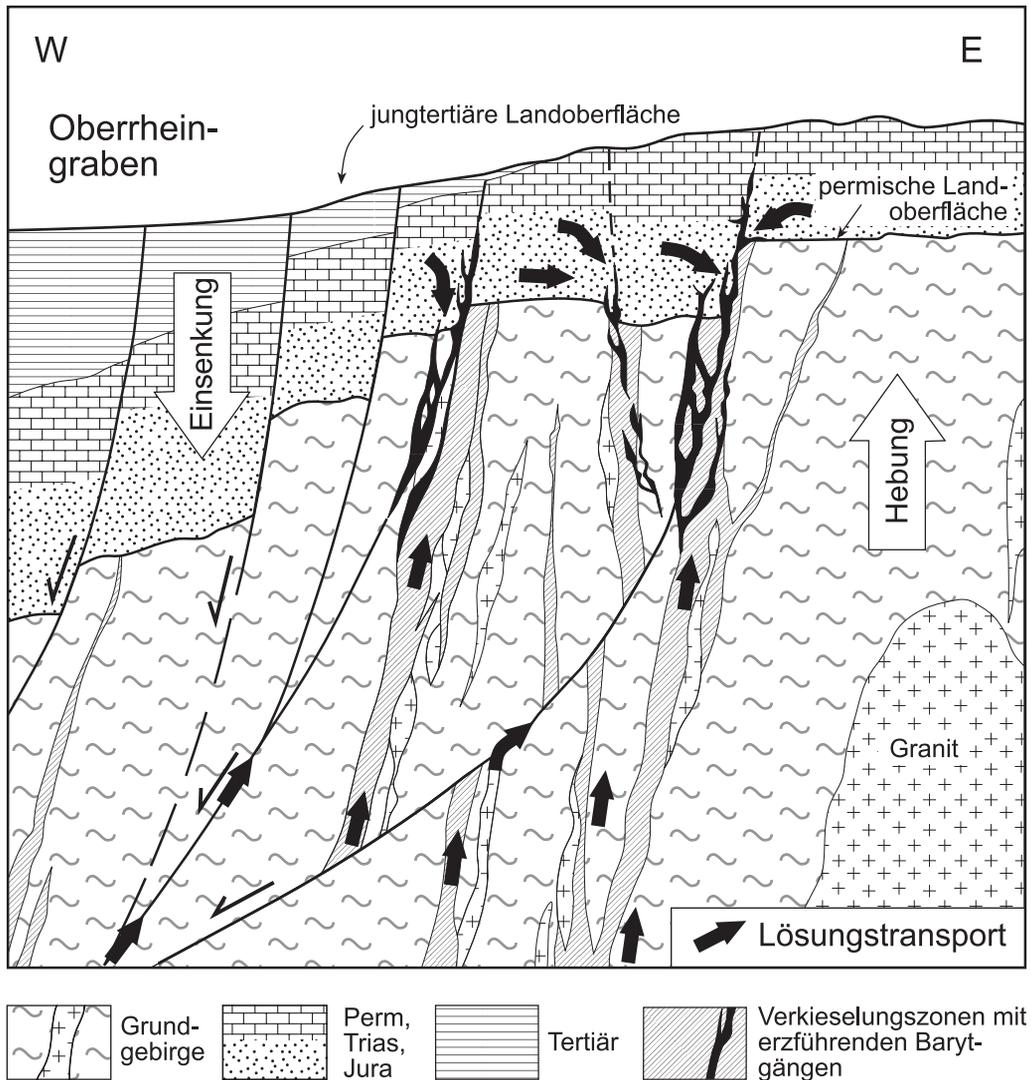
Beim Durchwandern tiefliegender Gesteinskörper erwärmen sich die Wässer und können dann in aufgeheiztem Zustand auf anderen Wegen wieder aufsteigen. Sie nehmen dabei die löslichen Bestandteile aus dem Nebengestein auf. Vor allem solche chemischen Elemente und Verbindungen, die nur schwer in das Kristallgitter der gesteinsbildenden Minerale eingebaut werden können (meist Metallionen mit großem Radius), lassen sich aus ihrem Verband lösen. Sie steigen dann mit den heißen Wässern in den geöffneten Segmenten (Spalten) von tektonischen Störungen auf und zwar so lange, bis sich durch Zumischen kühlerer oder chemisch andersartiger Wässer das chemische Gleichgewicht verändert. Je nach dem Chemismus der neuen Lösung scheiden sich bestimmte Elemente in Form von Mineralen ab, andere bleiben noch in der Lösung zurück. Auch bereits früher gebildete Mineralisationen können wieder an- oder ganz aufgelöst werden. Meist folgen – bedingt durch erneute tektonische Bewegungen – mehrere hydrothermale Ereignisse aufeinander, wodurch mehrere Generationen von Gangmineralisationen entstehen.

Die Entwicklung der Erdkruste ist natürlich nicht abgeschlossen. Wie die messbare Hebung des Schwarzwalds und die begleitende Einsenkung des Oberrheingrabens geht auch die Zirkulation hydrothermalen Wässers und der Absatz von Mineralen auf Störungen in einigen Hundert bis Tausend Metern Tiefe unvermindert weiter. Mit tiefen Bohrungen werden solche „aktiven“ Zonen gelegentlich angetroffen. Wie die 9101 m tiefe „Kontinentale Tiefbohrung“ bei Windischeschenbach in der Oberpfalz belegt, treten selbst in deren tiefsten Abschnitten noch offene Klüfte und Porenräume auf, die von heißen, unter hohem Druck stehenden Lösungen erfüllt sind. Die Temperaturzunahme pro Kilometer Tiefe (geothermischer Gradient) beträgt hier 28 °C; die durch die Gneise zirkulierenden Lösungen weisen in dieser Tiefe Temperaturen um 250–260 °C auf.

Häufige Diskussionspunkte unter Geowissenschaftlern sind die Herkunft der „erzbildenden“

Lösungen und das Bildungsalter der Hydrothermalgänge. Das Wissen über das „Wie und Wann“ der Entstehung von Lagerstätten ist sowohl für die Rohstoffprospektion als auch für das Verständnis der Entstehungsgeschichte großer geologischer Körper von Bedeutung. Am Beispiel der größten Erzlagerstätte des Schwarzwalds, nämlich der am Schauinsland bei Freiburg i. Br., kann dies exemplarisch erläutert werden. Aufgrund der Ergebnisse der geologischen Kartierung war in der Zeit zwischen 1903 und 1925 zunächst angenommen worden, während des Tertiärs wären Thermalwässer mit Metallen aus dem durchströmten Gebirge aufgestiegen und hätten ihre Metallfracht in den Gangspalten des Schauinslands abgesetzt. Erst die Vorstellung, dass Erzgänge mit der Abkühlung der Granitintrusionen des Schwarzwalds verknüpft sein müssten (SCHNEIDERHÖHN 1929), führte zur Annahme eines oberkarbonisch-permischen Alters dieser und aller anderen Erzgänge im Kristallin. Man sah sie als Produkt aus magmatischen Restlösungen an, die während der Abkühlung der Granitplutone frei geworden waren. Für die rund 150 Mineralgänge im Umfeld des Schauinslands wurde bis ca. 1996 konsequenterweise ein oberkarbonisches Alter angenommen (MAUS in: GROSCOPF et al. 1996: 64–65).

Die seit 1992 durchgeführten strukturgeologischen, geochemischen und geochronologischen Untersuchungen auf den durch die Besucherbergwerke wieder zugänglichen Lagerstättenaufschlüssen im Revier Freiamt-Sexau und am Schauinsland führten zu folgenden Ergebnissen (GERMANN et al. 1994, LÜDERS 1994, WERNER & FRANZKE 1994, 2001, WERNER et al. 2002): Die Hydrothermalgänge entstanden am Ostrand des Oberrheingrabens auf SSW–NNE streichenden Störungen, die entweder als links- oder als rechtsseitige Blattverschiebungen geöffnet wurden. Auslöser war der tektonische Druck des Alpenbogens auf sein nördliches Vorland mit einer zwischen dem Eozän und dem Obermiozän von ca. 190° auf 150° wandernden Richtung maximaler Kompression. Die Gangstörungen folgen bereits variszisch angelegten, d. h. vor ca. 340–350 Mio. Jahren entstandenen Brüchen.



▲ Abb. 68

Modell für die Entstehung von Hydrothermalgängen am Schwarzwaldrand.

Der modellhafte Schnitt zeigt am Beispiel der erzführenden Schwerspatgänge im Revier Freiamt-Sexau wie im Bereich der Lösungsmischung Hydrothermalgänge entstehen. Zum Zeitpunkt der Mineralisation (hier im Jungtertiär) lagen noch Sedimente über dem Grundgebirge, die heute nur noch in den westlich vorgelagerten Emmendinger Vorbergen erhalten sind. Zur effektiven Spaltenöffnung kam es dort, wo junge Störungen des Grabens alte Verkieselungszonen (variszische Störungen) durchschlagen (aus: WERNER et al. 2002).

Man kann von der „Reaktivierung und Erweiterung“ bestehender Schwächezonen der Kruste sprechen. Die in der Zinkblende nachgewiesenen Erdöleinschlüsse, die wahrscheinlich aus

den im Oberrheingraben abgelagerten Pechelbronner Schichten stammen, geben einen klaren Hinweis auf das Alter: sie deuten auf eine Vererzung im Jungtertiär, strukturgeologische

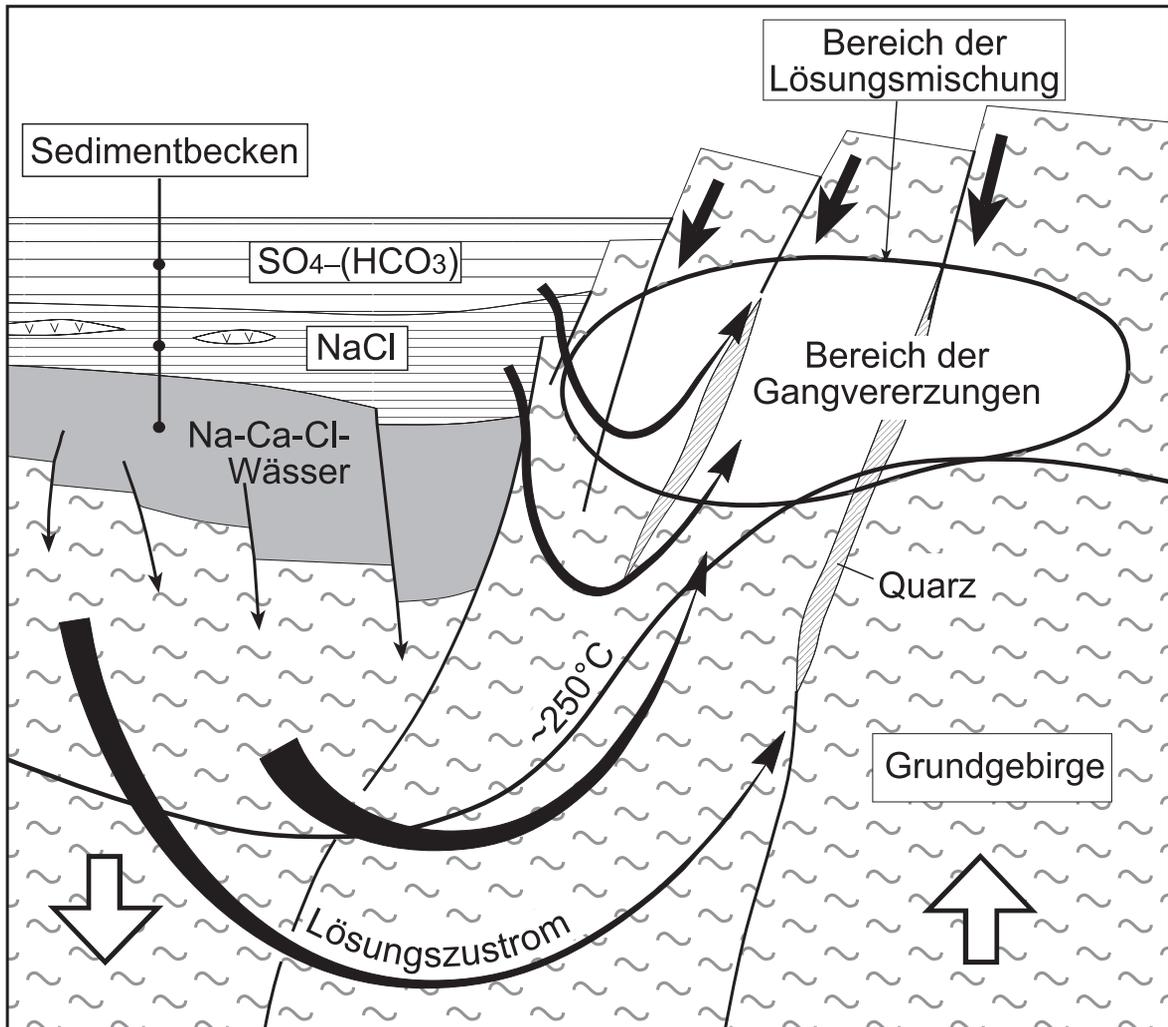
Daten erlauben eine Einengung auf das frühe Miozän (ca. 20 Mio. Jahre). In den Spalten erfolgte die Mischung von heißen, metallführenden Tiefenlösungen, hochsalinaren, kohlenwasserstoffführenden Formationswässern aus dem Oberrheingraben und sauerstoffreichen Oberflächenwässern. Zur Barytmineralisation kam es durch Zumischung sulfathaltiger Formationswässer, zur Sulfidfällung (also Erzmineralabscheidung) vermutlich durch thermochemische Sulfatreduktion, episodisch ausgelöst durch die in den Lösungen enthaltenen Kohlenwasserstoffe.

Die Untersuchungen der Verteilungen von Seltenerelementen in Fluoritkristallen aus den Lagerstätten Käfersteige, Clara, Gottesehre, Menzenschwand und den Gängen im Untermünstertal durch MÖLLER et al. (1982) hatten bereits gezeigt, dass diese großen Erz- und Mineralgänge nicht magmatischer Herkunft sind, wie man zuvor glaubte, sondern aus hydrothermalen Konvektionssystemen abgeleitet werden müssen, welche vor allem die Gneise und Granite gelaugt haben. Neuere Untersuchungen von SCHWINN & MARKL an Proben aus 63 Fluoritvorkommen des Schwarzwalds konnten nun bestätigen, dass die stoffliche Quelle für die Fluoritmineralisation die Gneise und Granite des Schwarzwalds sind, wobei die weiter verfeinerten Methoden der Geochemie es erlauben, granitische und metasedimentäre Herkunftsgesteine (Gneise, Diatexite usw.) zu unterscheiden. Ferner konnte nachgewiesen werden, dass nicht die unmittelbaren Nebengesteine als Stofflieferanten anzusehen sind – eine Überlegung, die bereits im 18. Jahrhundert diskutiert und von SANDBERGER (1880) als Theorie von der „Lateralsekretion“ auf zahlreiche Lagerstätten angewandt wurde. Vielmehr bestätigen die Daten, dass die meisten hydrothermalen Gänge des Schwarzwalds durch großräumige Mischung von salinaren Tiefenlösungen mit den in das Gebirge eingedrungenen Niederschlagswässern entstanden sind (Abb. 69). Dies könnte erklären, warum weit entfernt liegende Gangvorkommen eine sehr ähnliche geochemische Signatur aufweisen (SCHWINN & MARKL im Druck, SCHWINN et al. in Vorb.).

Jedoch unterscheiden sich Mineralgänge, die ihren Metallgehalt vor allem aus granitischen Gesteinen bezogen haben, in ihrer Erzparagenese teilweise von den Vorkommen, die in großen Gneisarealen auftreten. Deutlich wird dies z. B. durch Kobalt- und Wismuterze auf den Quarz- und Barytgängen des östlichen Zentral- und des Nordschwarzwalds, z. B. bei Wittichen, Reinerzau, Alpirsbach, Freudenstadt, Neubulach und Pforzheim. Entweder liegen diese Gänge direkt im Granit oder sitzen Störungssystemen im Buntsandstein auf, die ihre Fortsetzung zur Tiefe im Granit haben (Kap. 5.1 bis 5.4).

Das unmittelbare Nebengestein der Erz- und Mineralgänge ist zwar nicht als Lieferant für den Metall- und Fluorgehalt der Gänge anzusehen, jedoch sind seine chemischen und mechanischen Eigenschaften von großer Bedeutung für die Mineralisation. Schon BECK (1903) stellte ausführlich dar, dass schwefel-, kohlenstoff- oder karbonatreiche Nebengesteine die Ausfällung der hydrothermal angelieferten Stoffe begünstigen. Plastisch deformierbare Gesteine wie Tonsteine im Deckgebirge oder tonmineralreiche Ruscheln im Grundgebirge verhindern die Bildung offener Spaltensysteme, spröde brechende, „harte“ Gesteine hingegen, wie quarzreiche Gneise oder verkieselte Sandsteine (wie z. B. im Nordschwarzwälder Deckgebirge), ermöglichen die Entstehung offener, gut durchlässiger Brüche. Umgekehrt verändern auch die heißen, chemisch aggressiven Hydrothermallösungen das Nebengestein. Die Gneise des Schwarzwalds finden wir daher in Gangnähe häufig gebleicht oder vergrünt, was auf den Zersetzungsprozess der Feldspäte und Glimmer und die Neubildung von Kaolinit, Illit, Montmorillonit, Chlorit usw. zurückgeht. Im Granit kam es in Gangnähe zumeist zur Serizitisierung und Hämatitisierung, weshalb hydrothermal zersetzte Granite oft auffallend ziegelrot gefärbt sind.

Ein weit verbreitetes Phänomen der Schwarzwälder Erz- und Mineralgänge ist, dass frühe Hydrothermallösungen durch ihren hohen Siliziumgehalt – man spricht oft von „kieselsäurereichen Lösungen“ – das Nebengestein für die weitere



▲ **Abb. 69**
Generalisiertes Modell für die Entstehung von Hydrothermalgängen.

Entwicklung postvariszischer hydrothormaler Mineralisationen in Mitteleuropa (n. BEHR & GERLER 1987, verändert): sulfat-, natrium-, calcium- und chlorreiche Lösungen aus vorgelagerten Sedimentbecken (z. B. Oberrheingraben) gelangen in Grundgebirgshorsten (z. B. Schwarzwald) in den Mischungsbereich mit kühlen Oberflächenwässern, wo die Ausscheidung der durch saline Lösungen aus dem Grundgebirge gelaugten und transportierten Metalle auf Gängen erfolgt. Die offenen Pfeile zeigen die relative Bewegung der Störungsblöcke an.

Spaltenbildung günstig beeinflussten. Die Verrieselung, d. h. Quarz- oder Chalcedonmineralisation, führte dazu, dass das Nebengestein in Störungsnähe besonders spröde auf weitere

tektonische Beanspruchung reagierte. Stark verrieselte Nebengesteinskomponenten sind daher auch in vielen Schwarzwälder Erzgängen zu finden (Abb. 25).

Die ganz überwiegende Zahl der Erz- und Mineralgänge im kristallinen Schwarzwald tritt in Gneisgebieten auf. Granit- oder Quarzporphyrkörper weisen hingegen recht selten oder zumindest nur geringmächtige Gangmineralisationen auf. Nach Überlegungen von WERNER et al. (2002) liegt ein wesentlicher Unterschied zwischen Gneisen und Graniten bzw. Quarzporphyren im bruchmechanischen Verhalten und somit auch in den hydraulischen Eigenschaften dieser Gesteine.

Bei der Untersuchung tiefer Grundwasserströme im Kristallin konnten STÖBER & 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. Quarzporphyre und 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 zwar durch spröden Bruch, jedoch kommt es zur Bildung sehr zahlreicher gleichberechtigter Brüche (Klüfte), was zu der o. g. erhöhten Durchlässigkeit führt. Gneise verhalten sich aufgrund von regelmäßigem 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 entsteht in der Regel nicht. In Gneisen konzentriert sich der Lösungsstrom auf wenige Trennflächen (z. B. Störungen), die bei hohen Fluiddrücken elastisch erweitert werden können. Ein gerichtetes Fließsystem mit einer Konvektion auf einzelnen tiefreichenden Brüchen kann sich leichter ausbilden. In Granitarenalen treten daher wohl bedeutendere Gangmineralisationen nur dort auf, wo große und

tiefreichende Scherzonen wie bei Pforzheim und im östlichen Kinzigtal reaktiviert wurden (Kap. 5.7, Abb. 53).

Anschaulich lässt sich dieses Modell anhand der für das Gebiet um Seebach erarbeiteten Ergebnisse erläutern. Hier liegt – wie bei Wittichen, Reinerzau und Alpirsbach – eine historisch bedeutende Gangmineralisation in einem Granitgebiet (Grube Silbergründle, Kap. 5.3). In den unregelmäßig, massigen und gleichmäßig orthogonal geklüfteten Gesteinen des Oberkirch-Granits, des Seebach-Granits oder der grabenartig eingesenkten Quarzporphyrdecken (Abb. 138) treten nur spurenhafte Erzmineralisationen auf. Auch in den ausgedehnten Steinbrüchen dieses Gebiets kamen keine Vererzungen zu Tage, obwohl sie eine große Zahl von Quarzgängen enthalten. Die einzige erzführende Gangmineralisation des Gebiets, nämlich die der Grube Silbergründle, liegt auf einer breiten Störungszone mit eingeschuppten Gneiskörpern und einem stark gestörten Granitkörper, der sich auch durch eine ausgeprägte Mineralregulation von der Umgebung unterscheidet (Abb. 138). Doch selbst hier hat sich nur ein Netzwerk vorwiegend schmaler, teilweise barytführender Quarzgänge gebildet, so dass die Erzmineralisation auf viele kleine Gängchen verteilt vorliegt.

Auch in den berühmten Gangrevieren bei Wittichen, Reinerzau und Alpirsbach treten vornehmlich Schwärme von geringmächtigen Gängchen im Granit auf. Sie sind meist nur Zentimeter bis wenige Dezimeter mächtig. Hier ermöglichte jedoch die Anreicherung wertvoller Metalle – Silber, Kupfer, Kobalt und Wismut – zeitweise einen lohnenden Bergbau. Besonders die An-schärungspunkte von schmalen Trümchen an die Hauptgangstörungen waren oft reich vererzt (WOLF 1942).

Charakteristisch für Erz- und Minerallagerstätten ist, dass viele geologische Ereignisse, die über einen langen Zeitraum aufeinander folgten, zu ihrer Entstehung beitrugen. Dies gilt auch für den Schwarzwald, was sich anschaulich an einer kleinen Eisenvererzung erläutern lässt,

die bei **Friedenweiler im Revier Eisenbach** in einer Baugrube aufgeschlossen war (Abb. 19 und 20). Diese Eisen-Manganmineralisation im Bruckerwald gehört sehr wahrscheinlich zu einer NW–SE streichenden Scherzone im Granit, die südöstlich von Friedenweiler und 2,5 km weiter nordwestlich beim Hasenhof neben Hämatit und wenig Mangan- und Kupfererzen auch Gängchen von Fluorit, Baryt, Siderit und Quarz aufweist (FAISI 1951, BLIEDTNER & MARTIN 1986: 732).

Die Baugrube zur Errichtung eines Wasserhochbehälters im Gewann Bruckerwald erschließt zuunterst den Eisenbach-Granit. Der Granit ist engständig geklüftet. Der vor ca. 332 Mio. Jahren, d. h. im Unterkarbon, intrudierte Granit (SCHALTEGGER 2000) ist stark alteriert, die Feldspäte sind zersetzt, und auf den Korngrenzen und feinen Rissen hat sich Hämatit gebildet, der dem Gestein eine rotgraue Farbe verleiht. Im Südwestteil ist eine alte Störungszone angeschnitten, in welcher der Granit engständig zerschert ist. Solche Scherzonen treten im Grundgebirge häufig auf, können jedoch aufgrund der Tatsache, dass sie nachfolgend oft bewegt wurden und vielfältige Stoffumsätze erfuhren, selten genau zeitlich eingeordnet werden.

Die im Perm, d. h. vor ca. 300 Mio. Jahren, einsetzende kräftige Verwitterung des sich emporwölbenden Grundgebirges hat Granit und Scherzone teilweise abgetragen, wodurch belegt ist, dass diese Störung vor dem Perm entstanden ist. Nachdem der Eisenbach-Granit zuerst lange Zeit der Abtragung ausgesetzt war, wurde er noch während der Zeit des Mittleren Buntsandsteins zu einem Sedimentationsgebiet, in dem sich der Abtragungsschutt aus anderen Teilen des Gebirges ablagerte. Dabei wurde auch der stark geklüftete und gestörte Granit durch Sande und Tone überdeckt (Abb. 19), die sich bei zunehmender Überlagerung durch 1500 bis 2000 m mächtige Sedimente zu Sand- und Tonsteinen verfestigten. Der einst an der Oberfläche gelegene Granit wurde also wieder in große Tiefe versenkt.

Gegen Ende der Jurazeit, etwa vor rund 140 bis 135 Mio. Jahren, begann sich das Schwarzwälder Grundgebirge erneut herauszuheben – die Kollision von afrikanischer und eurasischer Platte hatte eingesetzt. Sie leitete die Entstehung des alpinen Gebirgsgürtels und die Herauswölbung des Rheinischen Schildes ein. Durch den Druck des Alpenbogens kam es während der Heraushebung des nördlichen Vorlandes und der Abtragung von Jura- und schließlich auch von Triasgesteinen zur Bildung unzähliger Störungen. Im Aufschluss ist diese Phase durch eine Abschiebung repräsentiert, an der die Sand- und Tonsteine versetzt werden (Abb. 20). Sie gehört zu einer rechtsseitigen Schrägabschiebung.

Kennzeichnend ist, dass diese junge Störung die durch die vorpermische Scherzone vorgegebene Schwächezone nutzte – die alte Störung wurde „reaktiviert“. Bei dieser Tektonik wurden auch hydrothermale Lösungen freigesetzt, die das im Eisenbach-Granit reichlich vorhandene Eisen aufnahmen. Dort, wo grobkörnige, kalkig gebundene Sandsteine an die Störung grenzen, konnten die eisenreichen Lösungen einwandern und im Austausch gegen Karbonate Hämatit absetzen. So ist der Aufschluss bei Friedenweiler ein schönes Beispiel für die vor 330 Mio. Jahren begonnene, dynamische Entwicklung des Schwarzwälder Grund- und Deckgebirges, in deren Folge es an vielen Stellen strukturgebunden zur Erzanreicherung gekommen ist.

Warum aber enthält gerade der Schwarzwald im Vergleich zu seinem weiteren Umfeld so viele Hydrothermalgänge? Vor allem drei Faktoren scheinen hierfür verantwortlich zu sein:

- (1) Die am Rande des Oberrheingrabens herausgehobenen Kristallingesteine und die auflagernden, oft stark verkieselten Sandsteine von Perm und Trias bieten im Gegensatz zu den jüngeren Ton- und Karbonatfolgen des Deckgebirges geeignete mechanische Eigenschaften zur Bildung tieferreichender Brüche.

- (2) Der mindestens seit der Kreide fortgesetzt wirkende Druck des Alpenbogens auf sein nördliches Vorland bewirkte die wiederholte Öffnung alter Bruchsysteme in diesen spröden Gesteinen und ermöglichte so die mehrfache Mobilisation aufgeheizter Tiefenlösungen.
- (3) Der Wärmefluss aus dem Erdmantel ist im Gebiet des Oberrheingrabens und seiner Randgebirge deutlich erhöht gegenüber der weiteren Umgebung; die Kruste ist hier nur

rund 25 km dick (GIESE 1995), während sie sonst in Mitteleuropa zumeist zwischen 30 und 36 km Dicke aufweist.

Vor allem diese drei Faktoren führten dazu, dass die im Gestein vorhandenen geringen Metallmengen gelöst, transportiert und in der oberen Erdkruste auf Mineralgängen angereichert wurden. Hierdurch wurde die Basis für die nachfolgend erörterte intensive Rohstoffnutzung gelegt.