Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen

Band: 31 (1977-1980)

Artikel: Blei-, Zink-, Kupfer- und Arsenvererzungen im Wellengebirge (unterer Muschelkalk, Trias) am südlichen und östlichen Schwarzwaldrand

Autor: Hofmann, Beda

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-584900

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

Blei-, Zink-, Kupfer- und Arsenvererzungen im Wellengebirge (unterer Muschelkalk, Trias) am südlichen und östlichen Schwarzwaldrand

Von Beda Hofmann*

Zusammenfassung

Im unteren Muschelkalk (mittlere Trias) entlang dem Schwarzwald zwischen Rottweil und Basel wurden möglichst viele erzhaltige Proben gesammelt und die zugehörigen Profile aufgenommen. Die untersuchte erzführende Schichtstufe hat eine Mächtigkeit von 40—50 m.
Die Vererzungen treten in Kalken, Dolomiten, Siltsteinen und in geringerem Masse in Mergeln auf, sehr selten in Anhydriten.
Es konnten folgende Erzmineralien festgestellt werden: Gediegenes Arsen, Bornit, Zinkblende, Kupferkies, Fahlerz (Tennantit), Bleiglanz, Covellin, Pyrit und Markasit. Einige von ihnen vererzen oft organisches Material (Knochen, Muscheln). Sie sind wesentlich verbreiteter, als bisher bekannt war.
Anhand von verschiedenen Anzeichen wird gezeigt, dass die Erzmineralien kurz nach der Ablagerung der Sedimente in diesen gebildet wurden. Wie die Metalle ins Meerwasser gelangten, ist unklar; es gibt Anzeichen dafür, dass sie vom Festland her eingeschwemmt wurden.

Abstract

Pb-Zn-Cu-As-mineralisations in limestones, dolomites, siltstones and marls of the lower Muschelkalk (Middle Triassic) of the southeastern sedimentary cover of the Black Forest were studied. In this complex, which is 40 to 50 meters thick, several ore minerals were observed: Native arsenic, bornite, spahlerite, chalcopyrite, tennantite, galena, covellite, pyrite and marcasite. Shells, bones and wood often are mineralized (early diagenetic). Without doubt these mineralisations are of syngenetic origin, most probably supergenetic.

EINLEITUNG

Schon F. von Alberti (1834) hat Kupfererze aus dem Wellengebirge erwähnt. Auch später werden in den stratigraphischen und palaeontologischen Arbeiten von Schalch (1874, 1899, 1904, 1906, 1907, 1912, 1922), Disler (1914), Frank (1928) und Paul (1971) immer wieder Erze erwähnt. Nirgends werden die Erzmineralien jedoch genauer beschrieben oder gar speziell gesucht.

---

* Rosenbergstrasse 103, CH - 8212 Neuhausen am Rheinfall

Die vorliegende Arbeit wurde in Angriff genommen, nachdem mir auf einer Exkursion die Bleiglanzbank im Wellengebirge aufgefallen war und speziell als ich feststellte, dass praktisch keine Literatur darüber existiert.

Mein Dank richtet sich in erster Linie an meinen Vater, der mich schon von klein auf in die Geologie einführte und mit dem ich viele Exkursionen unternehmen konnte, ohne die es mir nicht möglich gewesen wäre, das Probenmaterial aufzusammeln. Herrn PD Dr. S. Graeser (Basel) und Herrn Prof. Dr. E. Niggli (Bern) verdanke ich die röntgenographischen Untersuchungen. Herr Prof. Dr. G. C. Amstutz (Heidelberg) untersuchte einige Erzkonzentrate. Die AG für schweizerisches Erdöl (SEAG) und die Gipsunion AG erlaubten mir die Untersuchung von Bohrkernen, die Georg Fischer AG analysierte eine Bleiglanzprobe. Mein Lehrer Dr. H. Borer erklärte mir einige Probleme chemischer Natur. Herr Dr. H. Hübscher und Herr Dr. R. Schlatter ermöglichten mir die Einsicht in die Sammlung des Schaffhauser Geologen Ferdinand Schalch.

Die vorliegende Untersuchung ist die leicht gekürzte Fassung einer zum Wettbewerb «Schweizer Jugend forscht» eingereichten Arbeit.

I. GEOLOGISCHE UND GEOGRAPHISCHE ÜBERSICHT

Die auf ihre Erzführung untersuchte Stufe, das Wellengebirge (unterer Muschelkalk, mittlere Trias), stellt im Untersuchungsgebiet ein 45—55 m mächtiges Schichtpaket aus Mergeln, Kalken, Dolomiten und seltener Siltsteinen dar. Am Rande des Ausbreitungsgebietes (gegen E) treten zudem Grobsande auf. Die Trias (und somit auch das Wellengebirge) ist am ganzen Schwarzwaldrand aufgeschlossen; weiter vom Schwarzwald entfernt wird sie von jüngeren Juraschichten u. a. überlagert, im Schwarzwald selber ist sie abgetragen.

Das Wellengebirge wird im Untersuchungsgebiet von unten nach oben in folgende Unterabteilungen aufgegliedert (nach Schmidt, 1907; Schalch, 1912; Paul, 1971):

mu_1, Wellendolomit

Eine 8—15 m mächtige Serie von meist trochitischen Dolomiten und Dolomitmergeln, mit scharfem Übergang über das

Röt (oberster Buntsandstein) transgredierend. Die untere Hälfte ist hauptsächlich aus Dolomiten (sog. liegende Dolomite), der obere Teil aus Mergeln aufgebaut. Die Mächtigkeit nimmt von Norden nach Süden, insbesondere auf Kosten der oberen, mergeligen Partie, stark ab. Die Bleiglanzbank (Schalch, 1873) bildet die Abgrenzung gegen oben. Sie stellt einen wichtigen Leithorizont dar, den man allerdings bei ungenügender Kenntnis mit anderen bleiglanzhaltigen Schichten verwechseln kann.

mu_2, Wellenkalk

Eine 25—30 m mächtige Serie von Mergel und Kalken, im Norden auch Dolomite.

mu_3, Orbicularismergel

Etwa 10 m mächtiger Komplex vom ± bituminösen Kalkmergeln, mit einzelnen Kalk- und Dolomitbänkchen. Oben Anhydrit- und Gipslagen, fliessend in den mittleren Muschelkalk (mm) übergehend.

Erzmineralien treten vom untersten mu_1 bis ins oberste mu_3 auf, offenbar stellenweise auch noch im untersten mm (Bohrung Wilchingen).

Die Vererzungen im Wellengebirge reichen im Norden mindestens bis nach Heilbronn (Simon, 1977), in der Gegend von Jena ist der Metallgehalt im Wellengebirge jedoch nicht mehr erhöht (Wedepohl, 1953). Am Ost- und Südrand des Schwarzwaldes wurden überall Vererzungen festgestellt. Das Wellengebirge am Westrand des Schwarzwaldes enthält nach Berg (1961) keine Schwermetallsulfide. Das Untersuchungsgebiet deckt sich mit dem Gebiet der intensivsten Vererzungen im Wellengebirge.

Ausserhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes wurde das Wellengebirge einiger Erdöltiefbohrungen im Schweizer Mittelland untersucht (es liegt hier in einer Randfazies, dem Muschel- oder Basissandstein vor). Die untersuchten Aufschlüsse sind in der geographischen Übersichtskarte (Abb. 1) eingetragen.

Für geologische und stratigraphische Details wird auf die grundlegenden Arbeiten von Paul (1971) und Schalch (1873—1922) verwiesen.

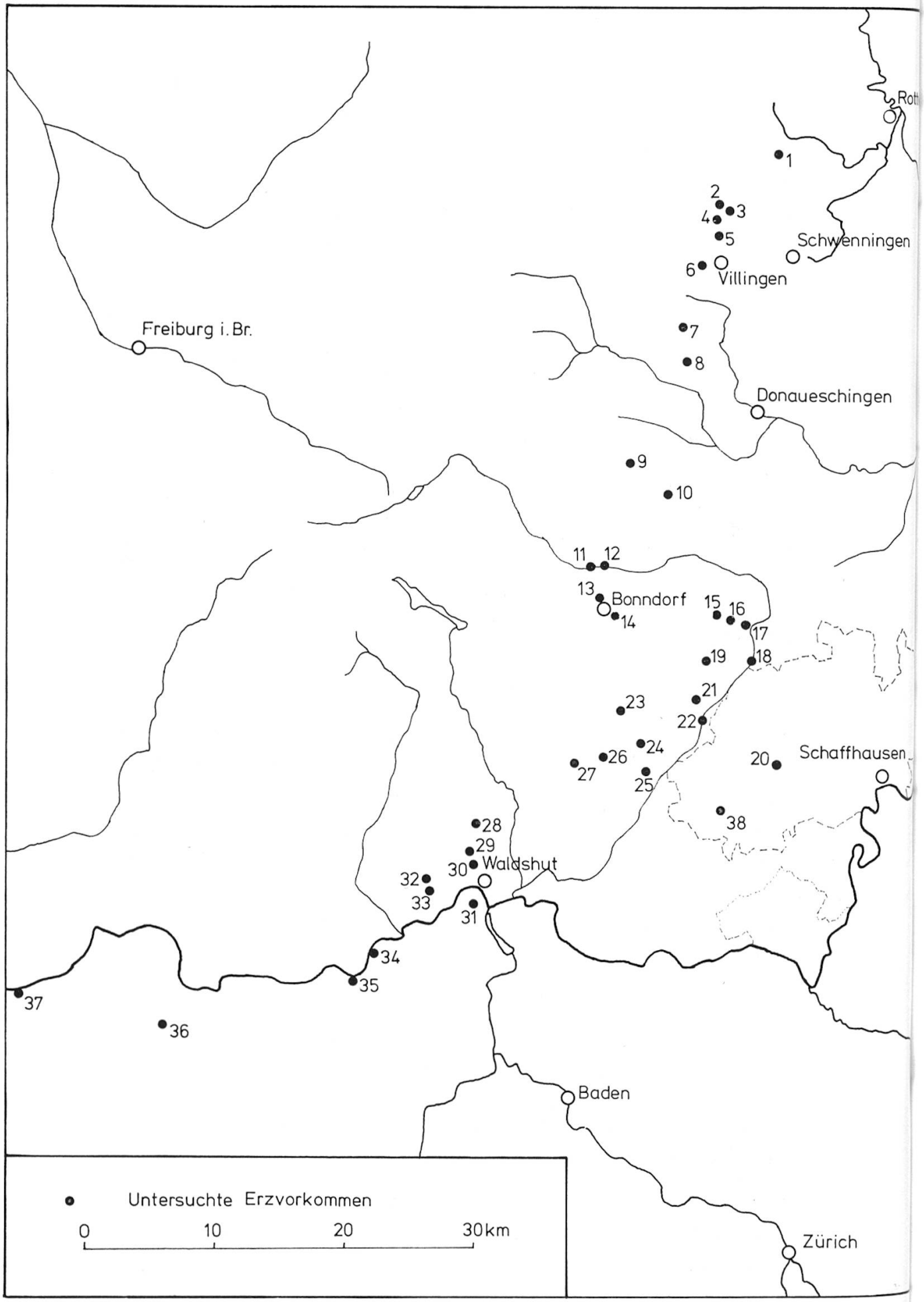

Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. Die Zahlen entsprechen den Fundstellen im Text.

II. DIE ERZFÜHRENDEN GESTEINE

1. Karbonatgesteine

Von allen erzführenden Gesteinen und teilweise auch von Gesteinen aus dem Hangenden und aus dem Liegenden wurden Dünnschliffe hergestellt. Die Grobtextur wurde am Anschliff studiert. Zur Unterscheidung von Calcit und Dolomit wurde Alizarinrot S verwendet.

Im Untersuchungsgebiet treten drei primär verschiedene Typen von Karbonatsgesteinen auf; meist gibt es eine kalkige und eine (diagenetisch veränderte) dolomitische Ausbildung:

— Kryptokristalline Gesteine ohne sichtbaren organischen Detritus. Diese Gesteine sind sehr gleichkörnig und besitzen keine sichtbare Schichtung. Meist sind sie ziemlich stark tonig.

— Halbschillgesteine. Meist relativ gut erhaltene Karbonatschalen (in den Kalken), locker gelagert mit kryptokristallinem Bindemittel (falls nicht stark diagenetisch verändert). Bei starker Trochitenführung bestehen Übergänge zu Trochitengesteinen. Ganze Knochen und Knochentrümmer sind verbreitet. Innerhalb der Bänke treten oft verschiedene Zonen auf, die sich im Sortierungsgrad der Muscheltrümmer unterscheiden. Diese Gesteine sind am häufigsten erzführend: Die Bleiglanzbank, die meisten erzführenden Gesteine im Wellenkalk und in den Orbicularismergeln sind Halbschillgesteine.

— Bruchschillkalke. Einige vererzte Gesteine des mu_2 und des mu_3 sind Bruchschillkalke, z. T. mit Übergängen zu Calcareniten. Im Handstück erscheinen sie wie ein feinkörniger Kalk, im Dünnschliff erkennt man die oft parallel zur Schichtung gelagerten Schalentrümmer. Dolomitisiert sind diese Gesteine nicht als solche zu erkennen.

Bei der Dolomitisierung werden die Gesteine stark verändert. Der lumachellöse Charakter der Schalentrümmerbänke ist oft nur noch mit Schwierigkeiten auszumachen. In den allermeisten Fällen bewegt sich die Korngrösse der dolomitisierten Gesteine zwischen 0,1 und 1 mm. Kryptokristalline Dolomite treten nur im untersten Wellendolomit auf.

Stylolithen sind selten, sie konnten nur in unveränderten Kalken festgestellt werden.

2. Mergel

Es handelt sich um beigebraune bis schwarze Mergel mit stark wechselndem, aber meist geringem Karbonatgehalt. Sie lassen sich in Wasser, speziell nach Behandlung mit Schwerbenzin, leicht dispergieren, im Gegensatz zu den Tonschiefern derselben stratigraphischen Lage aus den Tiefbohrungen. An Anschliffen kann Feinschichtung beobachtet werden.

3. Siltsteine

Siltsteine sind im Wellengebirge selten. Nur in wenigen Proben konnten Erze nachgewiesen werden. Die Siltsteine sind sehr feinkörnig, oft mit Kreuzschichtung im cm-Bereich. Oft kann zudem eine ausgeprägte Feinschichtung beobachtet werden. Das Bindemittel ist meist karbonatisch. Fossilien sind sehr selten.

4. Sandgehaltsbestimmungen

Die Sandgehaltsbestimmungen wurden durchgeführt, um festzustellen, ob während der Bildung der Karbonatbänke starke Strömungen Material vom Festland brachten und ob dies auch während der Bildung der Mergel der Fall war.

Der Sandgehalt (d. h. detritischer Quarz über 0,063 mm) wurde durch Schlämmen (Mergel) und Behandlung mit Säuren (Mergel und Karbonatgesteine) bestimmt.

Die Mergel enthalten im Durchschnitt weniger Sand als die Karbonatgesteine. Mergel: 0,17% (14 Proben). Karbonatgesteine: 0,51% (24 Proben, ohne Extremwert von 22,2%). Der Unterschied wird deutlicher, wenn man bedenkt, dass oft Übergänge von Kalken zu Siltsteinen vorkommen (in den Kalkbänken kommt oft viel hier nicht erfasster Silt vor), während Mergel mit mehr als 0,9% Sand nie beobachtet wurden.

III. DIE ERZMINERALIEN

In diesem Kapitel werden die einzelnen Erzmineralien beschrieben. Es werden einige Pulveraufnahmen und eine chemische Analyse angegeben. Das grösste Gewicht wird auf die Beschreibung gelegt, wie die Erzmineralien im Gestein auftreten.

Die Art des Auftretens der Erzmineralien im Gestein wurde im Dünnschliff, die Verwachsungen der Erzmineralien untereinander im Anschliff studiert. Bei den untersuchten Mergelpro-

ben wurden entweder direkt Anschliffe hergestellt, oder aber, häufiger, das getrocknete Gestein mit Schwerbenzin getränkt, im Wasser gesprengt und dispergiert. Nach dem Abschlämmen des Tonanteils wurde die Sulfidfraktion, falls ausser Pyrit noch keine Sulfide sichtbar waren, in Araldit eingegossen und angeschliffen.

1. Arsen As

Im Weilertal bei Stühlingen (21) wurde in zwei übereinanderliegenden Kalkbänken ein Mineral gefunden, das sich bei einer röntgenographischen Untersuchung als gediegenes Arsen herausstellte. Die höchstens 0,5 mm grossen Körner sind immer randlich an Bleiglanzaggregaten angewachsen, nie jedoch an Zinkblende oder Pyrit. Im Bruch zeigen die Körner feinkristallinen Aufbau. Im frischen Anschliff ist das Mineral zinnweiss, läuft aber rasch grau und schwarz an. Die Altersstellung (ob früh- oder spätdiagenetisch) ist noch unklar. Meines Wissens handelt es sich um das erste bekannte synsedimentäre Vorkommen von gediegenem Arsen.

2. Bornit Cu_5FeS_4

Kommt nur bei (2) und bei (5) mit Fahlerz und Pyrit zusammen vor, ist stellenweise im Fahlerz (Tennantit) eingeschlossen; z. T. auch freie Körner im Gestein. Bis 0,5 mm.

3. Zinkblende ZnS

Zinkblende tritt in den Gesteinen des Wellengebirges in zwei verschiedenen Ausbildungen auf:

1. Typ: Im Dünnschliff undurchsichtige, immer xenomorphe Körner, zimt- bis orangebraun. Dieser Typ ist nicht etwa feinkörnig, die Körner sind aufgrund der Spaltflächen Monokristallite. Begleitendes Eisensulfid ist nur Pyrit. Eine Pulveraufnahme ergab eine Gitterkonstante von $5{,}4104 \pm 0{,}0007$ Å (reine Zinkblende 5,409 Å), das Mineral ist also sehr rein. Vermutlich ist die Trübheit dieser Zinkblende auf feinste Tonmineraleinschlüsse zurückzuführen. Im Gegensatz zur normalen Zinkblende kann man nie Zonarbau feststellen. Möglicherweise stellt sie einen Typ dar, der während der Diagenese nicht umkristallisiert ist.

2. Typ: Im Dünnschliff durchsichtige, braune bis schwarze, oft idiomorphe Körner, vielfach mit Zonarbau. Kommt oft zu-

sammen mit Markasit vor. Wahrscheinlich aus Typ 1 durch Umkristallisation hervorgegangen. (Spezifische Vergesellschaftung mit Markasit!).

Auftreten im Gestein:

— In den allermeisten Fällen tritt Zinkblende in unregelmässigen Körnern auf, die hie und da auch idiomorph ausgebildet sind. Meist sind sie unter 1 mm gross und nicht an irgendwelche Strukturen im Gestein gebunden. Die Körner der undurchsichtigen Zinkblende (siehe oben) sind oft nach der Schichtung gestreckt, die durchsichtige nie.

— Seltener kommt Zinkblende als Pseudomorphose nach Muschelschalen vor. Typ 1 ganze Schalen vererzend, Typ 2 meist nur um und in Schalen angereichert.

— An einer Stelle kommen freie Kristalle in einer Druse vor (31/1). Es dürfte sich um eine sekundäre Umlagerung handeln.

Verwachsungen: Zinkblendekörner werden oft von Kupferkies und Bleiglanz, z. T. auch von Fahlerz umwachsen. Der Fall, dass Zinkblende ein anderes Erzmineral umwächst, konnte nie festgestellt werden. Es ist daher wahrscheinlich, dass die Zinkblende das älteste Mineral ist, auch älter als der Bleiglanz.

4. Kupferkies $CuFeS_2$

Auftreten im Gestein:

— Immer xenomorphe, meist mit Zinkblende verwachsene Körner. Meist unter 1 mm gross. Selten verdrängt es mit Bleiglanz, von diesem aber durch Fe-Hydroxidhaut getrennt, Muschelschalen. Fahlerz enthält fast immer Kupferkiesrelikte.

— Im Mergel tritt er als einzelne, z. T. mit Pyrit oder Fahlerz verwachsene Körner auf.

Verwachsungen: Kupferkies ist vorzugsweise mit Fahlerz, Zinkblende und Pyrit verwachsen, nur selten mit Bleiglanz.

5. Fahlerz $Cu_{12}As_4S_{13}$

Ist extensiv verbreitet, kommt aber meist nur in kleinen Mengen vor. Dass es bisher übersehen wurde, ist wohl darauf zurückzuführen, dass kleine Körner im Gestein ohne Anschliff praktisch unsichtbar sind. Sämtliche von Schalch als Kupfer-

glanz (Chalkosin) bestimmte Proben stellten sich als Fahlerz heraus (auch Originalmaterial). Im Handstück unterscheidet es sich vom Bleiglanz durch das Fehlen von Spaltbarkeit; im Anschliff ist es deutlich dunkler. Der Strich ist meist braun bis braunschwarz. Auch in dünnsten Splittern völlig opak (d. h. Znarm). Alle angefertigten Pulveraufnahmen (durch Herrn PD Dr. S. Graeser und Herrn Prof. Dr. E. Niggli) ergaben reinen Tennantit (Arsenfahlerz). Es ist daher anzunehmen, dass es sich bei allen Vorkommen um Tennantit handelt, wo dies nicht bewiesen ist, wird der neutrale Ausdruck Fahlerz verwendet.

d-Werte von Tennantit aus dem Wellengebirge im Vergleich zu Tennantit aus dem Lengenbach:

Tennantit (31/5, Felsenau)			Tennantit			(Lengenbach, Binntal, aus Graeser, 1965)
hkl	Å	I	hkl	Å	I	
222	2,953	100	222	2,961	100	
440	1,808	95	440	1,810	90	
622	1,541	80	622	1,542	70	
844	1,044	40	844	1,045	40	
a_0 = 10,227 Å			a_0 = 10,233 Å			

Der Tennantit vom Lengenbach ist allerdings etwas Ag-haltig.

Auftreten im Gestein:

— Am häufigsten als unregelmässige Massen mit Kupferkieseinschlüssen, nicht an Strukturen im Gestein gebunden. Teilweise sind es Kupferkiesaggregate mit dünnem Überzug von Fahlerz, teilweise sind nur noch kleinste Kupferkiesreste im Fahlerz enthalten.

— Selten sind kleine Tetraeder oder Würfel mit Kupferkies- oder Bornitkern im Gestein eingewachsen.

— Einzelne Körner, meist mit Kupferkies verwachsen, in den Mergeln.

— Zusammen mit Pyrit und Kupferkies vererzt es Fossilien in den Mergeln.

— Einmal wurde es auch zusammen mit Bleiglanz auf einer Kluft in einem Siltstein beobachtet.

Verwachsungen: Das Fahlerz ist praktisch ohne Ausnahme mit Kupfersulfiden verwachsen (Kupferkies oder Bornit), dabei verdrängt das Fahlerz offensichtlich das Kupfersulfid. Oft tritt

Fahlerz in Aggregaten an der Korngrenze Pyrit-Kupferkies auf. Sehr selten mit Bleiglanz verwachsen.

6. Bleiglanz PbS

Das häufigste Schwermetallsulfid im Wellengebirge (ausser Pyrit). Eine Probe von Lausheim (15) wurde im Zentrallabor der Georg Fischer AG, Schaffhausen, auf Spurenelemente analysiert. Es ergaben sich folgende Gehalte (in ppm):

Ag 40 Bi 80 Cu 140 Zn 390

Die Gehalte an Ag und Bi liegen weit unter denen hydrothermal gebildeter Bleiglanze (vgl. Graeser, 1971). Der Cu- und Zn-Gehalt dürfte im wesentlichen auf Einschlüsse von Fremdmineralien zurückzuführen sein. Es ist anzunehmen, dass auch der Bleiglanz der anderen Fundorte von ähnlicher Reinheit ist. Der Bleiglanz tritt auf folgende Arten im Gestein auf:

— Als Einschlüsse von vollkommen unregelmässiger Begrenzung in den Karbonatgesteinen. Gegen das Karbonat zeigen sie eine zerfranste Korngrenze ohne jede Idiomorphie. In grobkörnigen Dolomiten wachsen gelegentlich idiomorphe Dolomitkristalle in den Bleiglanz hinein. Die Körner bestehen meist nur aus einem einzigen Kristallindividuum (erkennbar an den Spaltflächen). Die Bleiglanzkörner sind oft nach der Schichtung gestreckt. Einschlüsse sind eher selten, bei einigen Vorkommen in diagenetisch nicht stark veränderten Gesteinen aber charakteristisch.

— Pseudomorph nach Calciumcarbonatschalen von Mollusken in den Karbonatbänken, selten auch in den Mergeln. Die Schalen sind z. T. nur partiell, teilweise aber auch vollständig durch Bleiglanz verdrängt. Unvollständige Verdrängungen kommen nur in den diagenetisch schwach veränderten Gesteinen vor, in den Dolomiten ist die Verdrängung meist vollständig.

— Einschlüsse in Knochen. Knochenrelikte (wohl meist von Ichthyosauriern) sind im ganzen Wellengebirge relativ häufig. Sie haben oft einen Blaustich (Vivianitisierung?) und sind ein empfindlicher Bleianzeiger: an verschiedenen Fundstellen, wo Bleiglanz sehr selten ist, enthalten ihn nur Knochenreste. Der Bleiglanz befindet sich immer innerhalb der

Knochensubstanz und nie in Hohlräumen, mit Ausnahme feinster Kanäle, die auch vererzt werden. In den äusseren Teilen der Knochen ist oft mehr Bleiglanz enthalten.

— Einschlüsse in Koprolithen.

— Rundliche, feinkristalline Aggregate in Kalkbank, konnte nur an einer Stelle (26) festgestellt werden.

— Kleine Körner treten in Grabgängen von Schlickwürmern (17/2) auf.

— Einschlüsse in fossilem Holz. Bleiglanz bildet mehrere Zellen grosse Aggregate und ist offensichtlich jünger als die ihn begleitenden Eisensulfide.

— In kleinen Drusen der Bleiglanzbank finden sich nach Weglösung des Calcites oft kleine Kristalle bis 2 mm mit vorherrschendem Oktaeder, z. T. vergesellschaftet mit Ankeritrhomboedern.

— Selten treten kleine Bleiglanzpartikel in Calcit- und Dolomitadern auf, welche erzführende Bänke durchschlagen, selten auch in Stylolithen.

— In den Mergeln tritt Bleiglanz als Einschlüsse in den verschieden ausgebildeten Pyriten auf. Die Einschlüsse sind meist unregelmässig, zuweilen tritt Bleiglanz als Zement zwischen den winzigen Pyritindividuen der kleinen Konkretionen auf. Auch als kleine Einschlüsse in pyritisierten Cephalopoden (Beneckeia Buchi).

— Selten sind frei im Mergel auftretende Bleiglanzkörner, z. T. als gute Kristalle.

Verwachsungen: Der Bleiglanz ist oft mit Pyrit verwachsen, es kommen sowohl Einschlüsse von Pyrit in Bleiglanz als auch umgekehrt vor. Häufig umwächst Bleiglanz die Zinkblende, oft zusammen mit Kupferkies. Mit letzterem bildet der Bleiglanz nur selten Verwachsungen, oft sind die beiden Mineralien durch eine Eisenhydroxydkruste voneinander getrennt. Selten bildet Fahlerz dünne Krusten um Bleiglanz. In Stühlingen (21) ist Bleiglanz vorzugsweise mit gediegenem Arsen verwachsen.

7. *Covellin* CuS

Kommt bei (2) und (5) als kleine Einschlüsse in Bornit resp. Fahlerz vor, wohl Verwitterungsbildung. Bei (5) bildet er einen

Einschluss in Bornit und enthält seinerseits einen Borniteinschluss. Bei (4) mit Kupferkies und Bleiglanz verwachsen.

8. Pyrit und Markasit FeS_2

Eisensulfide oder zumindest ihre Oxydationsprodukte sind in fast jedem Gestein des Wellengebirges anzutreffen.

Auftreten im Gestein:

— Bis 2 cm lange unregelmässige Aggregate in den Kalkbänken bestehen meist aus Markasit. Sie fehlen in den Dolomiten weitgehend.

— In den Karbonatbänken enthält die Grundmasse oft würfelförmige kleine Körner (Pyrit).

— Selten verdrängt Eisensulfid Karbonatschalen, in den Mergel häufiger als in den Karbonatgesteinen, oft zusammen mit Bleiglanz.

— Als Vererzungsmineral in Kohle tritt neben grobkörnigem Markasit auch sehr feinkörniges, sich an der Luft rasch zersetzendes Eisensulfid vor, sog. Melnikowit.

— In Schlämmproben der Mergel findet man fast immer sog. Rogenpyrit (Fabricius, 1962), himbeerartige, kugelförmige Gebilde von 0,05—0,1 mm ⌀, die wieder aus kleinen Kügelchen bestehen. Sie stimmen mit dem von Fabricius (1962) beschriebenen Rogenpyrit vollständig überein.

— Weiter kommen in den Mergeln unregelmässige Klümpchen, zylindrische, unregelmässig gebogene Stäbchen und freie Oktaeder vor. Der Pyrit der Mergel enthält viele Einschlüsse von Tonpartikelchen.

9. Sekundärmineralien

Bleiglanz verwittert oberflächlich oft zu einem weissen pulverigen Überzug, wahrscheinlich Cerussit. Von diesem wurden an einem Ort (28) auch Kriställchen gefunden. Kupfersulfide (Kupferkies und Bornit) verwittern oft zu Malachit und Azurit, manchmal ist das primäre Sulfid nicht mehr nachweisbar. An einigen Fundstellen von Fahlerz tritt zudem noch eine Reihe weiterer Sekundärmineralien von olivgrüner bis hellblauer Farbe auf.

IV. VERTEILUNG DER ERZMINERALIEN

1. Horizontale Erzzonen

a) Liegende Dolomite (mu_1)

Die liegenden Dolomite, also der untere Teil des Wellendolomites, führt in sehr wechselndem Masse Erzmineralien. Meist sind sie an stark trochitische Bänke gebunden, in zwei Fällen an sehr feinkörnige, sandige Dolomite. In den trochitischen Gesteinen scheint im Norden Kupferkies und Fahlerz, im Süden Bleiglanz zu überwiegen. Ein Vorkommen von Zinkblende in Drusen (31/1) ist wahrscheinlich nicht primär; sonst ist sie selten.

b) Bleiglanzbank, Grenze mu_1/mu_2

Die Bleiglanzbank (Schalch 1873) ist diejenige Erzzone mit der grössten Ausdehnung. Ihr Vorkommen ist von Niedereschach bis nach Etzgen gesichert, d. h. auf einer Fläche von mindestens 1000 km^2. Es handelt sich um eine im Norden stark diagenetisch veränderte, im Süden aber kalkig ausgebildete Schalentrümmerbank von 5—40 cm Mächtigkeit. An einigen Stellen konnten auch in den hangenden und liegenden Mergel Erzmineralien nachgewiesen werden, jedoch in geringerer Konzentration. Die Erzführung ist bemerkenswert konstant. Mit einer Ausnahme ist Bleiglanz das bei weitem häufigste Erzmineral. Im Norden ist Kupferkies häufig, im Süden selten, Zinkblende tritt nur im Süden auf. Fahlerz ist nur an einer Stelle (4) häufig, sonst ist es sehr selten, im Süden fehlt es ganz.

c) Zone oberhalb der Deckplatten (mu_2)

In dieser bisher offenbar als steril betrachteten Zone konnten, 0—4 m über der Deckplatte, verschiedene Vererzungen in Karbonatbänken und in Mergeln festgestellt werden. Besonders schön ist diese Zone im Weilertal bei Stühlingen sichtbar. Die erzführenden Karbonatbänke sind Halbschillkalke, Bruchschillkalke und feinkörnige Kalke, seltener Dolomite. Eine Gesetzmässigkeit in der Verteilung der Erzmineralien konnte nicht festgestellt werden. Ob alle Vorkommen dieser Zone wirklich in der genau gleichen stratigraphischen Lage liegen ist unsicher.

d) Spiriferinenbank, direkt Hangendes und Liegendes (mu_2)

In der Spiriferinenbank (Bruchschillkalk) selbst konnte innerhalb des Untersuchungsgebietes nur an einer Stelle (Weiler-

tal b. Stühlingen) ein Erzmineral festgestellt werden (Bleiglanz). Nördlich des Untersuchungsgebietes soll jedoch die Spiriferinenbank häufiger Bleiglanz führen (Schmidt, 1908). Im direkt Liegenden und Hangenden konnten an verschiedenen Stellen Erzmineralien nachgewiesen werden, meist in Halbschillkalken.

e) Orbicularismergel (mu_3)

An verschiedenen Stellen konnten auch in den Orbicularismergeln Erzmineralien nachgewiesen werden. Die Verteilung ist sehr unregelmässig und die Gehalte sind oft minim. Es treten dieselben Mineralien auf wie im Wellenkalk (mu_2).

2. Erzparagenesen

Es lassen sich zwei Erzparagenesen unterscheiden:

1. Fahlerz, Bornit, Kupferkies, Pyrit, Zinkblende (Covellin), also bleifrei. Diese Paragenese tritt nur im untersten mu_1 auf.

2. Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Fahlerz, Pyrit, Markasit, Arsen (Covellin). Diese Paragenese ist (allerdings nie vollständig) im ganzen Wellengebirge verbreitet.

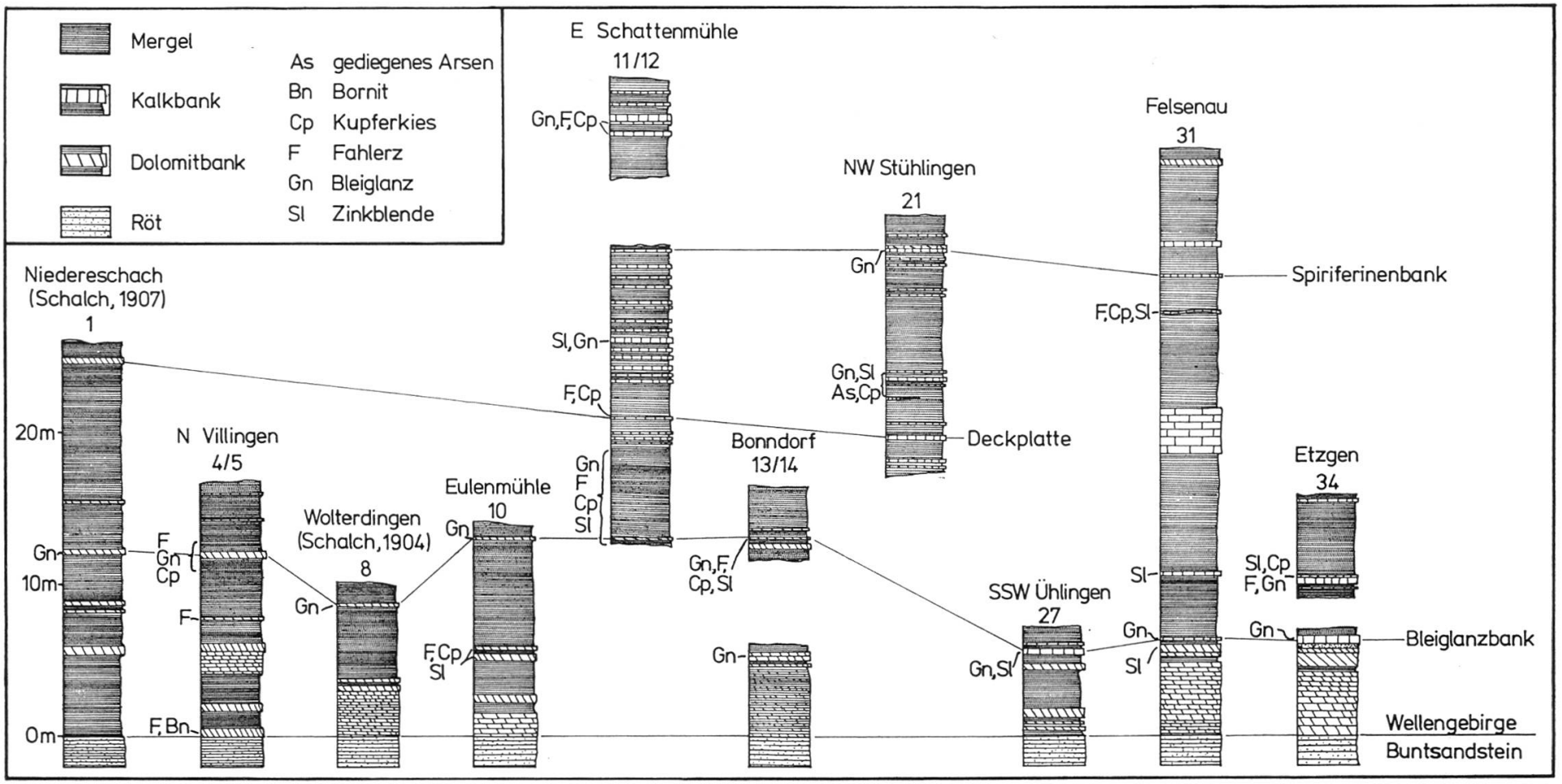

Abb. 2: Profilzug durch einige untersuchte Erzvorkommen. Vgl. mit Abb. 1. Die Zahlen entsprechen den Fundstellennummern im Text.

V. GENESE

1. Milieu im Meer des unteren Muschelkalkes

Das Meer des unteren Muschelkalkes war sehr seicht, zeitweise, vor allem im mu_3, sogar wattartig trockengefallen (Paul, 1971). Wie die in Biozoenose aufgefundenen Muscheln, die Schnecken sowie die Grabgänge von bodenbewohnenden Lebewesen beweisen, muss am Meeresboden ein durchaus normales, d. h. oxidierendes Milieu geherrscht haben, sicher war es nicht euxinisch (wie bei der Bildung des Kupferschiefers oder wie im Schwarzen Meer). Hingegen muss man annehmen, dass das Porenwasser der an der Oberfläche liegenden Sedimente durch die Tätigkeit von sulfatreduzierenden Bakterien an Schwefelwasserstoff angereichert war, ev. unter einer noch im oxidierenden Milieu liegenden Oberflächenschicht.

Da das Meeresbecken flach und ziemlich isoliert war, sowie aufgrund von Gips- und Anhydritfunden in den Orbicularismergeln und im Basissand (Pfaffnau 1), ist anzunehmen, dass die Salinität erhöht, aber doch meist nicht lebensfeindlich hoch war. Vielleicht ist die relativ artenarme Fauna darauf zurückzuführen.

2. Gesteinsbildung

Die offenbar bevorzugte Anreicherung von Schwermetallen in Karbonatbänken drängt die Frage auf, inwiefern sich die Sedimentationsbedingungen während der Ablagerung der Mergel und der Karbonatbänke unterschieden. Es seien vorerst die für die beiden Gesteinstypen charakteristischen Eigenschaften aufgezählt:

Karbonatbänke (erzführende):

— Fossilien sind sehr häufig (mit einigen Ausnahmen).
— Die Fossilien sind immer ± stark zertrümmert (Thanatozoenosen).
— Die Substanz von karbonatischen Fossilien ist erhalten oder aber erst sekundär gelöst worden.
— Der Sandgehalt ist oft höher als in den Mergeln. Es kommen Übergänge zu Siltsteinen vor.
— Sie sind immer leicht tonhaltig.
— Erzmineralien treten in zum Teil hohen Konzentrationen auf (bis 12%).

Mergel (erzführende):

— Fossilien sind weniger häufig als in den Karbonatgesteinen.
— Die Fossilien treten sowohl in Bio- als auch in Thanatozoenosen auf.
— Karbonatschalen sind teilweise gelöst.
— Der Sandgehalt ist meist geringer als in den Karbonatgesteinen, hohe Gehalte (über 1%) wurden nicht festgestellt.
— Karbonat ist immer vorhanden, meist in rel. kleinen Mengen (5—20%).
— Erze treten immer nur in sehr kleinen Konzentrationen auf.

Die stark kalkigen Mergel gleichen in den obenerwähnten Eigenschaften teils mehr den Mergeln, teils mehr den reinen Karbonatgesteinen.

Die Art der Fossilführung (Halbschillgesteine resp. Biozoenosen) sowie die Unterschiede in den Sandgehalten deuten darauf hin, dass während der Bildung der Karbonatgesteine die Meeresströmungen stärker waren als während der Ablagerung der Mergel.

Es ist nicht möglich, einen genauen Grund für die Karbonatfällung anzugeben, da verschiedenste Möglichkeiten in Betracht kommen. Offenbar war das Meerwasser nicht immer an Kalk gesättigt, da während der Ablagerung der Mergel Karbonatschalen aufgelöst wurden. Wenn man annimmt, dass die Tonsedimentation einigermassen konstant verlief, ergibt sich, dass die Sedimentationsrate während der Bildung der Karbonatgesteine grösser war. Das häufigere Auftreten von Fossilien in den Karbonatgesteinen muss wohl auf bessere Lebensbedingungen zurückgeführt werden (vielleicht geringere Salinität wegen Frischwasserzuflüssen). Paul (1971) erklärt die Bildung der Karbonatgesteine durch ein Aussetzen der Tonsedimentation. Dies wäre aber mit einem Stagnieren des Wassers gleichzusetzen, was wiederum mit den obenerwähnten Kriterien im Widerspruch steht.

Die Dolomitisierung der Gesteine ist sicher spätdiagenetisch. Dafür sprechen folgende Indizien (Kriterien z. T. nach Füchtbauer u. Goldschmidt, 1965):

— Grobkörnigkeit
— Starke Umkristallisierung der Fossilien; sie sind nur noch undeutlich sichtbar.
— Normalmarine Fossilien und Fazies.

— Der Dolomit ist z. T. stark Fe-haltig.
— In der Bleiglanzbank ist deutlich ein Fazieswechsel sichtbar: Im Norden dolomitisch, im Süden kalkig mit beginnenden Dolomitisierungserscheinungen.

Die feinkörnigen Dolomite im untersten mu_1 sind wohl am ehesten frühdiagenetisch dolomitisiert worden.

Bei den Vorkommen, bei denen man eine beginnende Dolomitisierung beobachten kann, ist besonders interessant, dass immer zuerst Muschel- und Schneckenschalen durch Dolomit ersetzt werden. Dies steht im Gegensatz dazu, dass Aragonit (aus diesem bestehen unveränderte Muschelschalen) nach Degens (1968) höchstens 1% $MgCO_3$ in fester Lösung enthalten kann, also nach der Umkristallisation einen Mg-armen Calcit liefert, der kaum zuerst dolomitisiert wird. So beschreibt auch Merki (1961, p. 151) Dolomitgesteine, in denen Schalen noch reliktisch als Calcit erhalten sind, also genau das Gegenteil!

Die spätdiagenetische Dolomitisierung hat also mit der frühdiagenetischen Erzbildung keinen direkten Zusammenhang.

Coelestin (und/oder Baryt) sind im Wellengebirge selten und dürften in keinem Zusammenhang mit der Erzbildung stehen.

3. Erzfällung

Ganz sicher sind die hier beschriebenen Vererzungen synsedimentär entstanden, d. h. sie wurden während und/oder kurz nach der Ablagerung ihrer Muttergesteine gebildet. Indizien dafür sind das ausgeprägt schichtgebundene Vorkommen (dünne, erzführende Schichten lassen sich über ein grosses Gebiet verfolgen), die regelmässige Verteilung der Erzmineralien innerhalb der erzführenden Gesteine, die Vererzung von organischem Material, wie sie nur kurz nach dessen Absterben möglich war, das Auftreten von Erzen in sicher frühdiagenetisch gebildeten Pyritknöllchen, schichtkonforme Konzentrationsschwankungen innerhalb einer erzführenden Bank, sowie die Tatsache, dass die Vererzung vor der Dolomitisierung erfolgte. Die Erzmineralien auf querschlägigen Calcit- und Dolomitäderchen sind sicher sekundär umgelagert (spätdiagenetisch oder epigenetisch).

Die Löslichkeit der Schwermetalle Blei, Zink und Kupfer in normalem (oxydierendem) Meerwasser wird im wesentlichen durch den pH-Wert und den CO_2-Gehalt bestimmt. Die durch den

pH-Wert bedingte obere Grenze der Löslichkeit liegt bei pH 7,5 für Blei bei 5×10^{-5}% (Wedepohl 1956), für Zink und speziell für Kupfer noch tiefer (noch geringere Löslichkeit der jeweiligen Hydroxide). Zum Transport der abgesetzten Metallmengen waren demnach bei der geringen Wassertiefe grosse Wasserumwälzungen notwendig.

Die Ausfällung der Erze erfolgte hauptsächlich während der Bildung der Karbonatgesteine und nur zu einem sehr kleinen Teil während der Bildung der Mergel. Diese enthalten, wenn überhaupt, dann nur sehr geringe Mengen Erzmineralien. Es ist zwar denkbar, dass die Tonmineralien noch gewisse Mengen Schwermetalle gebunden enthalten, doch der grösste Teil wäre als Sulfid ausgefällt worden (Weiss u. Amstutz, 1966). Die Erzmineralien wurden sicher in situ gefällt und nicht erst während der Diagenese von den Mergeln in die Karbonatgesteine verfrachtet. Die weiter oben für den synsedimentären Charakter angegebenen Argumente sprechen dagegen.

Die Fällung von Karbonat und Erz hat also einen Zusammenhang. Sicher ist, dass nicht die Anwesenheit der Schwermetalle die Karbonatfällung ausgelöst hat, da gewisse Schichten (Bleiglanzbank, Spiriferinenbank) über weite Strecken verfolgbar sind, aber nicht in ihrem gesamten Verbreitungsgebiet Erze führen. So ist die der Bleiglanzbank entsprechende Schicht in der Gegend von Freudenstadt praktisch erzfrei (Schmidt 1907). Ein denkbarer Zusammenhang, der mit allen Kriterien im Einklang steht, wären grössere Frischwasserzuflüsse vom Festland.

Es ist anzunehmen, dass die Erzmineralien im mit H_2S angereicherten Sediment wenig unter der Oberfläche ausgefällt wurden, entweder direkt aus dem Meerwasser, oder, was wahrscheinlicher ist (wegen den geringen Metallgehalten im Meerwasser), durch Reaktion von an organisches Material (z. B. Algen) adsorbierten Schwermetallen mit H_2S. Eine direkte Fällung von Sulfid an der Sedimentoberfläche oder gar im freien Wasser ist wegen dem oxidierenden Milieu nicht denkbar. Die Vererzungen dürften schon sehr früh (frühdiagenetisch) das heutige Aussehen erlangt haben, spätere Umsetzungen sind unwesentlich.

Die Erzmineralien sind sehr häufig an organische Strukturen gebunden. Im folgenden wird versucht, eine Erklärung für die unter III. beschriebenen Vererzungen von organischem Material zu geben.

— Vererzte Molluskenschalen. Der Grund, wieso karbonatische Molluskenschalen innerhalb eines ebenfalls karbonatischen Sedimentes selektiv vererzt wurden, ist nicht klar. Möglicherweise wurden schon zu Lebzeiten der Mollusken geringe Mengen von Schwermetallen ins Aragonitgitter der Schalen eingebaut, so dass Keime für eine spätere Metallabscheidung entstanden. Die meist ± senkrecht zur Schalenoberfläche stehenden Karbonatfasern waren dem Lösungstransport sicher förderlich. Vielleicht hat auch das reduzierende Mikromilieu unter Muschelschalen eine Rolle gespielt. Auffällig ist die Analogie, dass die Muschelschalen auch selektiv zuerst dolomitisiert werden. In Abb. 8 sieht man deutlich, wie die Vererzung von aussen nach innen fortschreitet.

— Vererzte Knochen. Hier bietet sich folgende Erklärungsmöglichkeit: Die auf dem Meeresgrund liegenden Knochen adsorbierten aus dem Meerwasser Schwermetalle (Ionenaustausch mit dem Phosphat oder Adsorption an organisches Material). Nach der Einsedimentierung des Knochens geriet er in H_2S-reiches Milieu, wobei das gebundene Schwermetall als Sulfid gefällt wurde. Eine erst spätdiagenetische Vererzung der Knochen ist unwahrscheinlich, da dann die feinsten Poren der Knochen (Havers'sche Kanäle), die oft vererzt sind, kaum mehr offen gewesen wären. Für die bleiglanzhaltigen Knochen aus dem Bonebed (17/4) kann zudem eine sehr lange Expositionszeit an der Sedimentoberfläche angenommen werden, da nach Merki (1961, p. 161) Bonebedlagen durch Aussetzen der Sedimentation zustandekommen sollen.

— Vererzte Koprolithen. Für die auch Phosphat und organisches Material enthaltenden Koprolithen dürfte dasselbe gelten wie für die Knochen.

— Erze in Wurmröhren. Möglicherweise hat es eine Rolle gespielt, dass durch diese Bauröhren Kontakt zwischen Frischwasser und H_2S-reichem Porenwasser geschaffen wurde. Es sei noch erwähnt, dass gewisse (allerdings landbewohnende) Würmer nach Vogt (1978) Blei anreichern können (bis 0,4% Pb in den Würmern).

— Der Rogenpyrit (framboidaler Pyrit) und die anderen pyritischen Gebilde dürften Produkte bakterieller Tätigkeit sein; vgl. Ramdohr (1960), Fabricius (1962), Love (1964).

Sicher ist, dass es sich um sehr früh gebildetes Material handelt. Die anderen, gelegentlich in diesen Pyritaggregaten auftretenden Erzmineralien dürften gleichzeitig mit dem Pyrit gebildet worden sein.

Alle diese Strukturen lassen sich am zwanglosesten erklären, wenn man eine Vererzung während und kurz nach der Ablagerung des Muttergesteins annimmt. Der primäre Mineralbestand umfasste wohl nur Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Bornit und Pyrit. Die anderen Mineralien dürften spätdiagenetische bis epigenetische Bildungen sein.

Die Dolomitisierung hatte offenbar keinen grossen Einfluss auf die Erzmineralien. In den dolomitisierten Gesteinen treten die Erzmineralien auf dieselbe Art auf wie in den nicht veränderten. Ausser Pyrit tritt jedoch kein fein verteiltes Erz mehr auf, diese Partikel sind wahrscheinlich gelöst und den grösseren angelagert worden. Das Auftreten von Muschelschalen, die gleichzeitig dolomitisiert und vererzt wurden, deuten auf eine Dolomitisierung in H_2S-reichem Milieu hin.

Der bei der durchsichtigen Zinkblende (Typ 2) zu beobachtende Zonarbau deutet auf Temperaturschwankungen während der Diagenese hin (schriftl. Mitt. von Herrn PD Dr. S. Graeser). Die Temperatur der erzführenden Schichten dürfte aber wegen der geringmächtigen Überlagerung kaum je 50 °C erreicht haben.

Die spätdiagenetischen und epigenetischen Bildungen betreffen, abgesehen vom Fahlerz, nur Umlagerungen von schon im Sediment vorhandenen Erzmineralien. Das Fahlerz dürfte durch Reaktion von Kupfer-Eisen-Sulfiden mit As-haltigen Lösungen (Redoxreaktion) entstanden sein, wahrscheinlich während der späteren Diagenese. An Fe-Hydroxide oder Tonmineralien adsorbiertes Arsen wurde offenbar remobilisiert und am ehesten als Arsen (III)-Thiokomplex transportiert.

Dies würde das im Vergleich zu den anderen Erzmineralien sehr ungleichmässige Vorkommen des Fahlerzes erklären. Interessant ist, dass die Zinkblende immer älter ist als die anderen Erze, da sie immer von diesen umwachsen wird und nie umgekehrt. Nach Degens (1968) entsteht Pyrit unter neutralen bis alkalischen Bedingungen, Markasit unter sauren. Tatsächlich findet man mit der primären Vererzung, soweit sicher bestimmt, meist Pyrit, während Markasit in unabhängigen grösseren Nestern mit spiessigen Kristallen auftritt, z. T. zusammen mit offenbar um-

gelagertem Bleiglanz. Der Markasit dürfte also eine spätdiagenetische bis epigenetische Bildung sein.

Über die Herkunft der Schwermetalle im Meerwasser kann nichts Sicheres ausgesagt werden. Möglich ist eine Herkunft aus submarinen, metallhaltigen Quellen (Exhalationen), wahrscheinlicher aber aus Wässern, die vom Festland her stammen. Der erhöhte Sandgehalt in den Karbonatgesteinen sowie das grossflächige, gleichmässige Vorkommen deuten auf eine Herkunft vom Festland, ebenso das relativ küstennahe Vorkommen der Erze. Eine Herkunft der Erzmineralien aus normalem Meerwasser, wie es Brongersma-Sanders (1966) für den Mansfelder Kupferschiefer postuliert, ist nicht anzunehmen. Die Gehalte im Meerwasser waren sicher erhöht (vgl. VI.).

Auffällig ist, dass im Buntsandstein und im untersten mu_1 Kupfer praktisch das einzige Schwermetall ist (ausser Fe), während im Wellengebirge Kupfer gegenüber dem Blei stark zurücktritt. Möglicherweise stammt ein Teil des Kupfers im untersten mu_1 aus aufgearbeiteten Vorkommen des Buntsandsteins.

4. Beziehungen zu ähnlichen Vorkommen in der näheren und weiteren Umgebung des Untersuchungsgebietes

In der näheren und weiteren Umgebung des Untersuchungsgebietes kommen folgende wichtigere Vererzungen in triadischen Gesteinen vor:

— Der gesamte Buntsandstein von der Nordschweiz bis nach Helgoland führt in meist geringem Masse Kupfererze (seltener Bleierze).

— In der ostalpinen Trias sind Pb-Zn-Lagerstätten verbreitet.

— In der Trias der Monte Leone-Decke im Binnatal (Wallis) sind überprägte synsedimentäre Vererzungen häufig (Pb, Zn, Cu).

— Die Keuperbleiglanzbank im Norden Baden-Württembergs.

— Im mittleren Keuper des Kantons Schaffhausen und nördlich davon sind Spuren von Kupfererzen verbreitet.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Vererzungen im Wellengebirge stellen also keinen Einzelfall dar. Dies macht es wahrscheinlich, dass zumindest die Grundursache der Vererzungen die gleiche ist. Allerdings muss man berücksichtigen, dass es sich z. T. um Bildungen ganz verschiedener Meeresbecken handelt.

VI. SCHWERMETALLGEHALTE

Wegen der geringen Mächtigkeit und den meist kleinen Gehalten an Metallen werden die erzführenden Schichten des Wellengebirges wohl kaum je von ökonomischem Interesse sein. Der einzige Vorteil läge in der meist sehr grossen Verbreitung der erzführenden Schichten. Denkbar wäre, bei genügend hohem Gehalt, eine Gewinnung als Nebenprodukt einer Tongrube, wo heute die Karbonatbänke auf die Halde gehen.

Der Schwermetallgehalt erreicht ausnahmsweise 10% (Lausheim), bei den anderen Vorkommen der Bleiglanzbank liegt er bei 0,1—1%, bei den meisten anderen Erzvorkommen noch tiefer. (Der Gehalt einiger Proben von Lausheim [15] wurde durch Mahlen und Abtrennen mit Bromoform bestimmt, der Rest im Vergleich dazu geschätzt.)

Aufgrund dieser Gehalte (Annahme einer Gesamtmächtigkeit des erzhaltigen Gesteins von 1 m mit 0,1% Pb) und der vorsichtig geschätzten Ausdehnung der Vererzungen von 500 km^2 ergibt sich immerhin ein Bleiinhalt von 1,25 Mio. t im Untersuchungsgebiet. Die Gesamtinhalte an Kupfer, Zink und Arsen dürften wesentlich geringer sein. Dies zeigt auch wieder, dass die Vererzungen kein «Zufall» sind: um diese Mengen abzusetzen, hätten bei einem Pb-Gehalt von normalem Meerwasser von 3×10^{-8}% (Wedepohl, 1967) ungefähr 4×10^6 km^3 Meerwasser vollständig vom Blei befreit werden müssen!

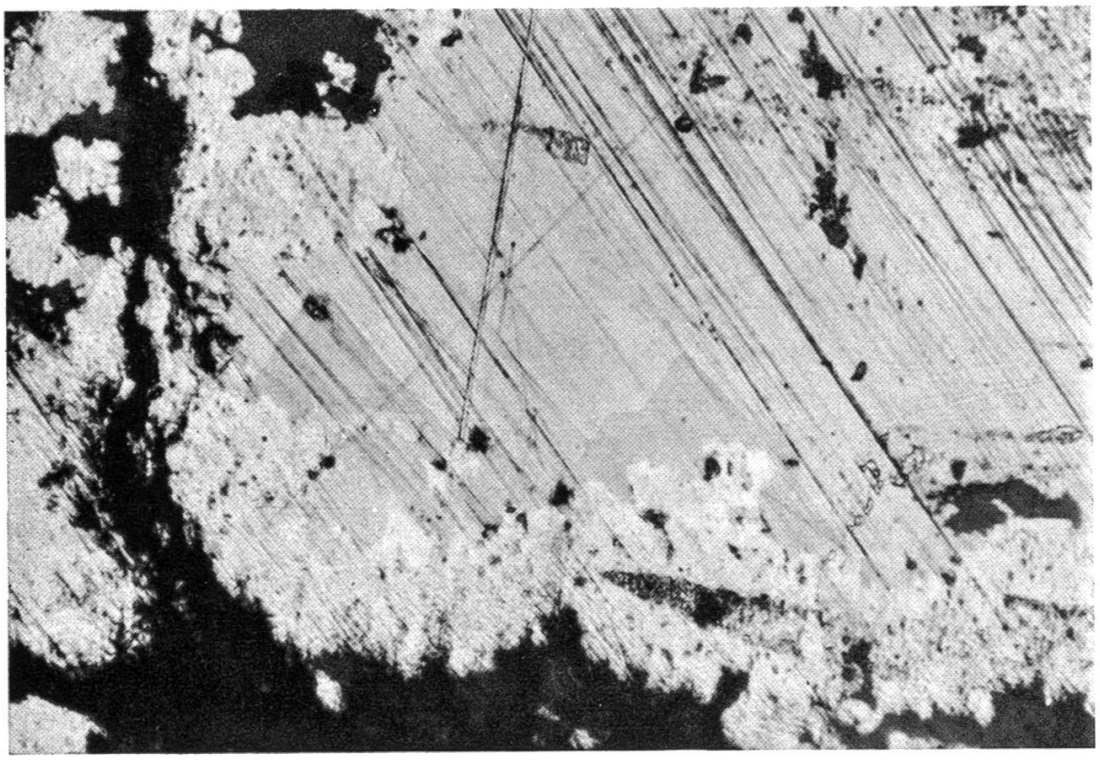

Abb. 3: Fahlerz (mittelgrau, idiomorph) verdrängt Kupferkies (hellgrau). Pyrit ist weiss, Nebengestein schwarz. Vererzter Ceratit im Mergel, Sommertshauser Halde N Villingen (4). — Anschliff, Vergrösserung 170×.

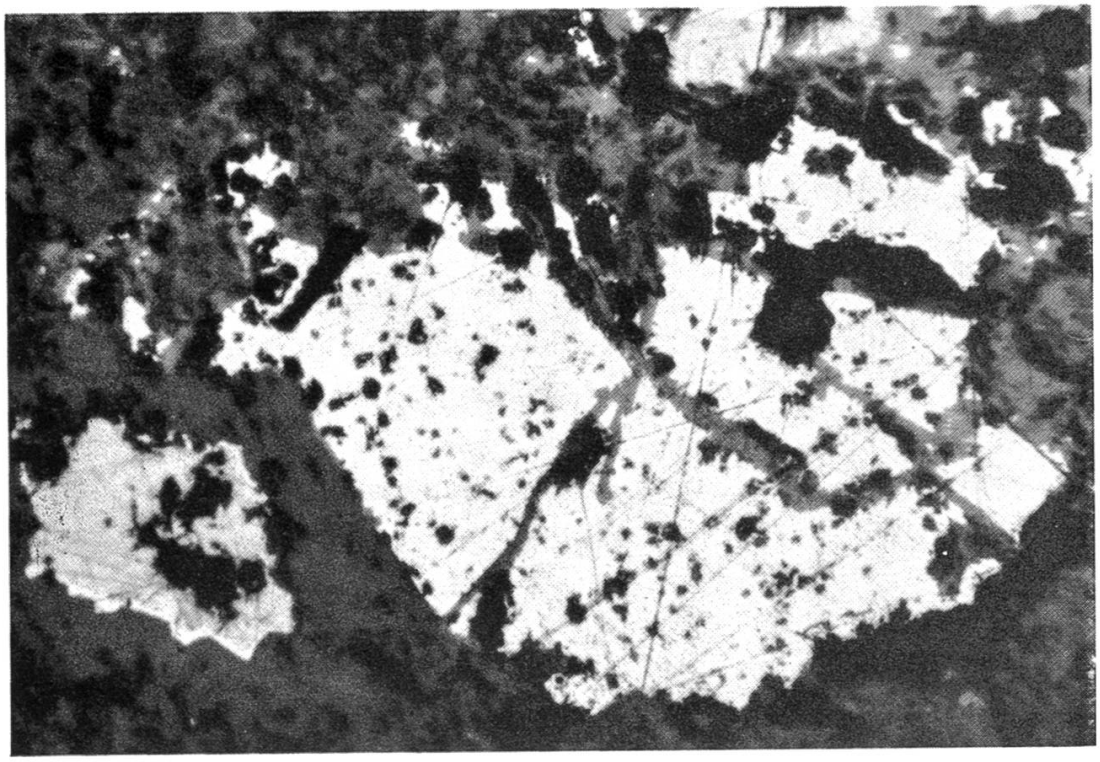

Abb. 4: Bornit (klein, dunkler) und Fahlerz (heller u. grösser) in Dolomit (dunkelgrau). N Villingen (5). — Anschliff, Vergrösserung 170×.

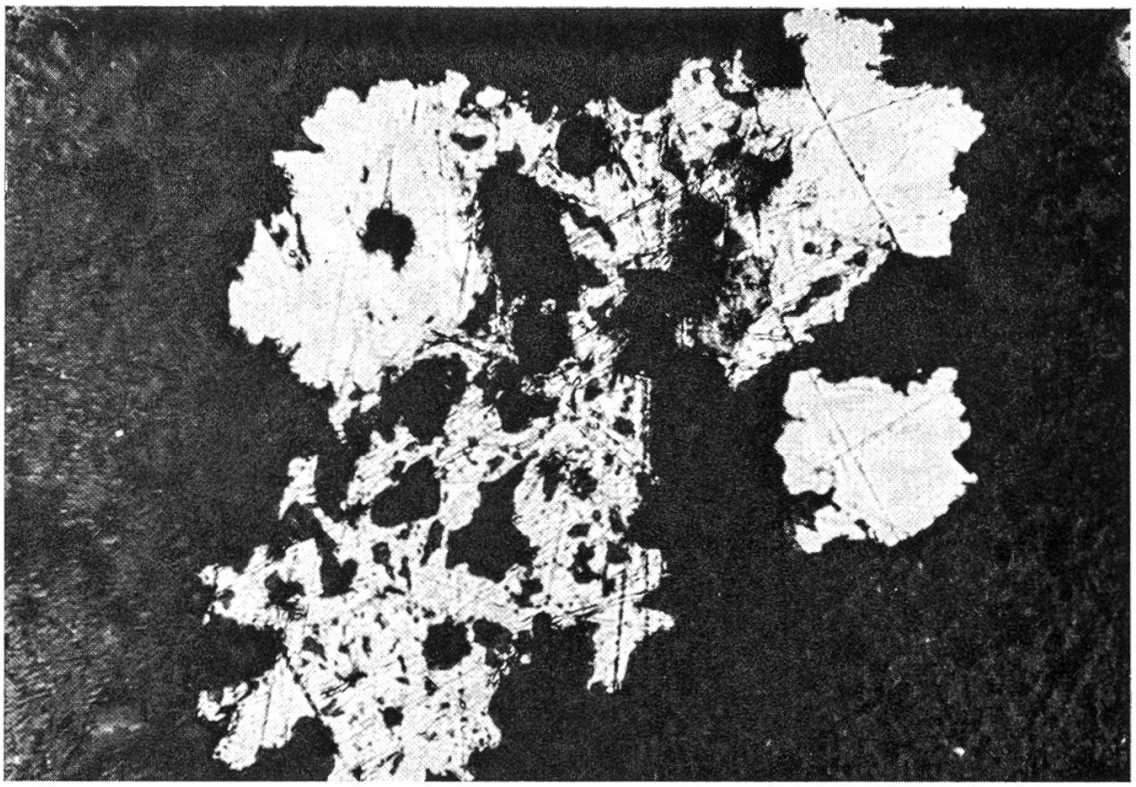

Abb. 5: Drei Körner von gediegenem Arsen (hellgrau) peripher an Bleiglanz (etwas dunkler) angewachsen. Das Arsen ist im Gegensatz zum Bleiglanz einschlussfrei. Weilertal, Stühlingen (21/1). — Anschliff, Vergrösserung 170×.

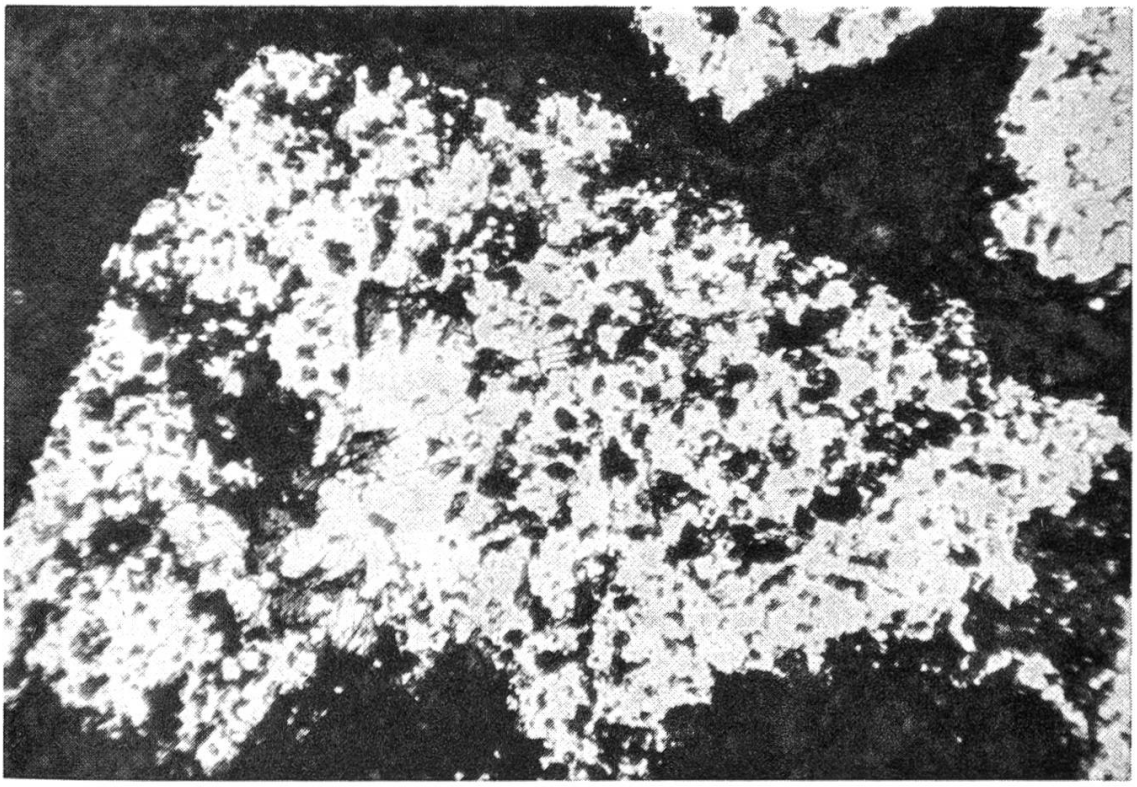

Abb. 6: Aus dem Mergel isoliertes Pyritkorn mit Bleiglanzeinschluss (etwas heller, mit Kratzern). Der Pyrit ist durchsetzt mit Tonpartikeln. Direkt unter Bleiglanzbank, E Schattenmühle (11). — Anschliff, Vergrösserung 170×.

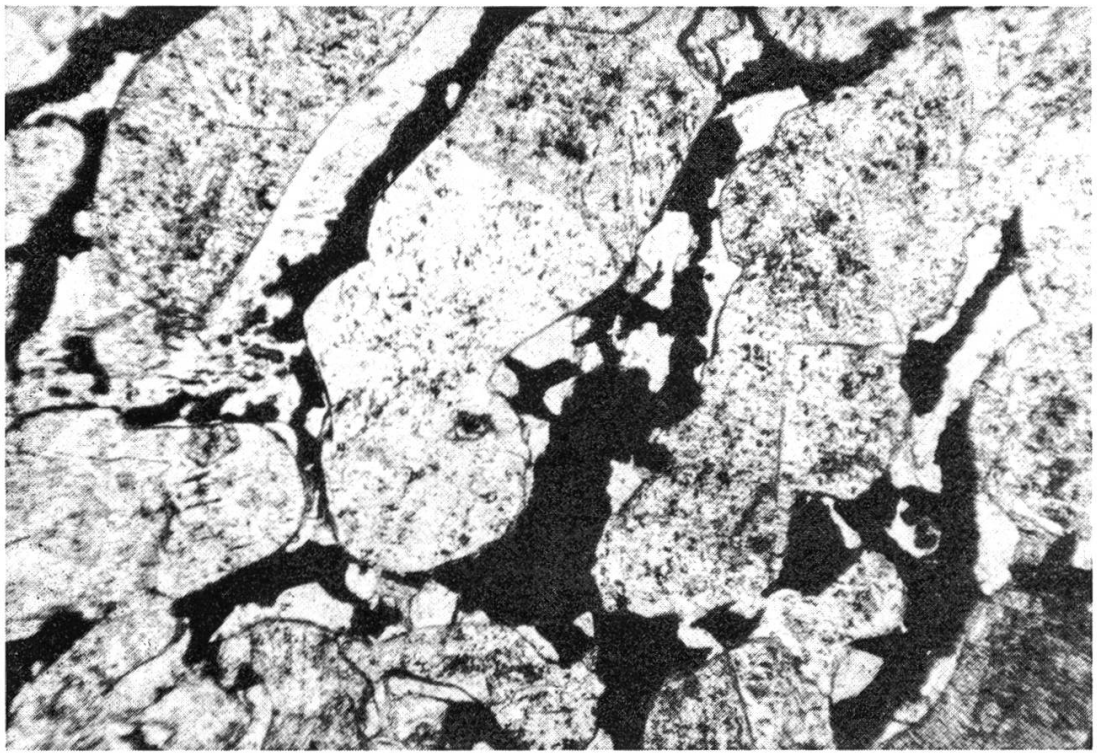

Abb. 7: Bleiglanz (schwarz) vererzt die Knochenbälkchen eines Ichthyosaurierwirbels. Dazwischen Dolomit. Bleiglanzbank, E Lausheim (15). — Dünnschliff, Vergrösserung 80×.

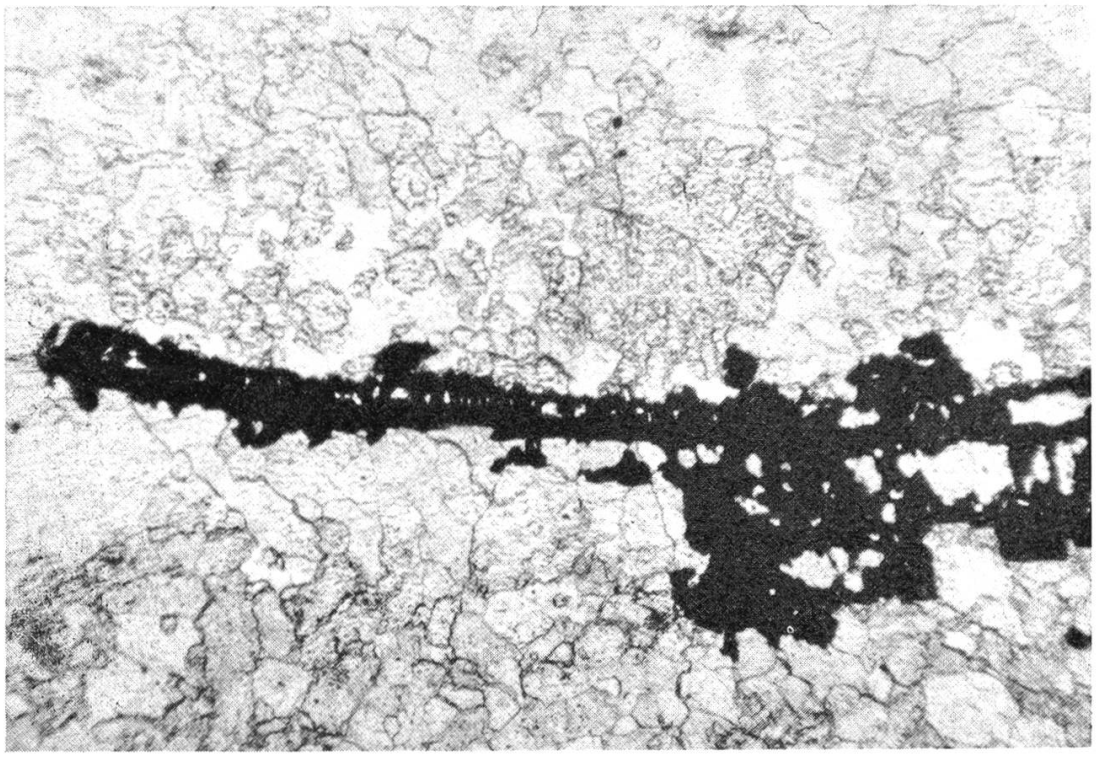

Abb. 8: Muschelschale wird durch Bleiglanz (schwarz) vererzt, daneben Kalk. Deckplattenregion, Strasse Schmitzingen—Waldshut (30/2). — Dünnschliff, Vergrösserung 80×.

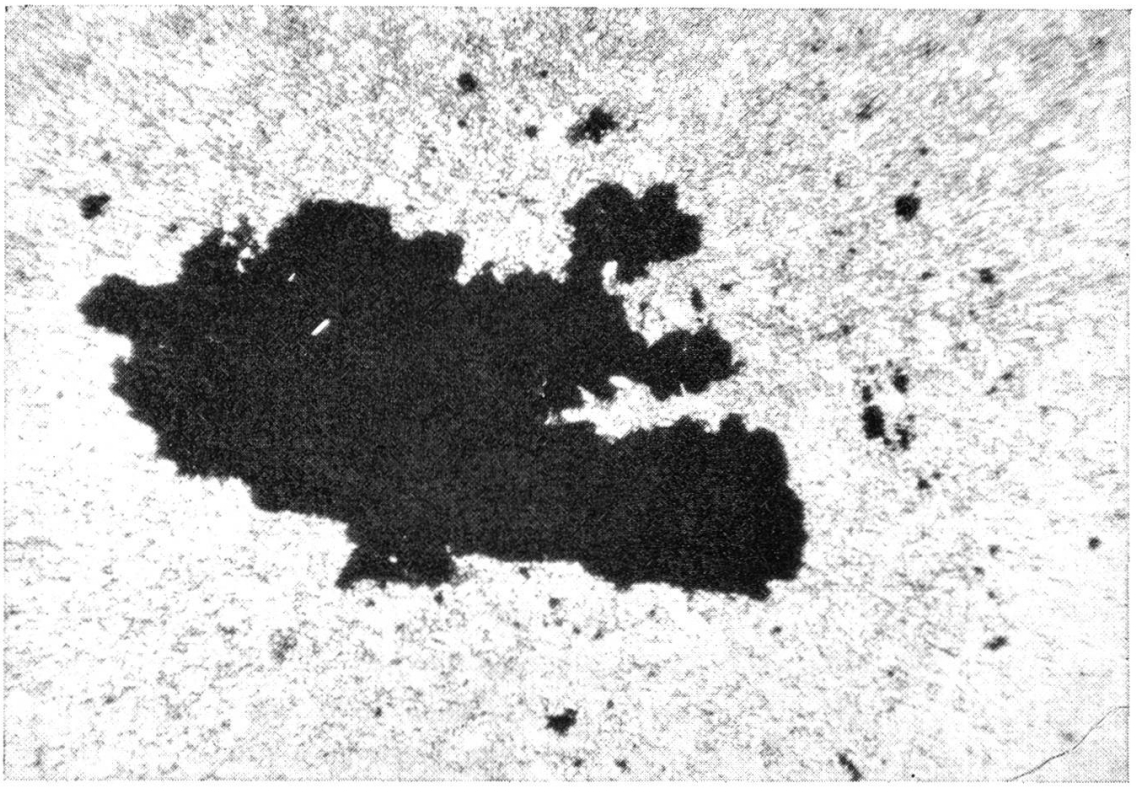

Abb. 9: Zinkblende (Typ 1) in feinkörnigem Kalk. E Schattenmühle (11/4). — Dünnschliff, Vergrösserung 80×.

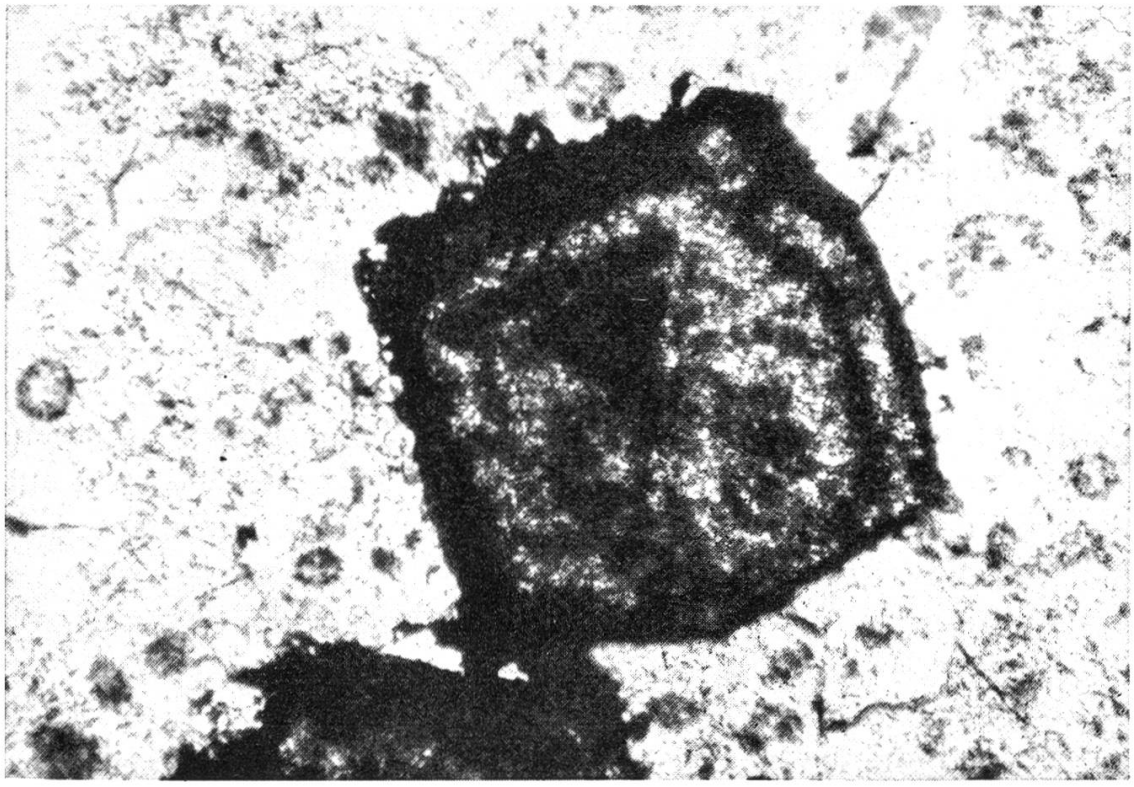

Abb. 10: Zinkblende (Typ 2) in Dolomit. Deutlich idiomorph und mit Zonarbau. E Schattenmühle (11/1). — Dünnschliff, Vergrösserung 170×.

ANHANG

Untersuchte Erzvorkommen

Die Koordinatenangaben erfolgen auch auf deutschem Gebiet, soweit noch von Schweizer Karten erfasst, nach dem schweizerischen Koordinatennetz, sonst nach dem deutschen. Die Farbangabe von Mineralien bezieht sich, falls nicht anders angegeben, auf den Eindruck im Handstück. Die Aufzählung der Mineralien erfolgt nach deren Häufigkeit, Sekundärmineralien werden am Schluss erwähnt.

Die Numerierung entspricht den im Text erwähnten Fundstellennummern.

Abkürzungen:

S Stratigraphische Lage
G Beschreibung des erzführenden Gesteins
M Beschreibung der Erzmineralien
L Literatur über die betreffende Fundstelle

Die Aufzählung der Vorkommen erfolgt von Norden über Süden nach Westen. Bei nicht selbst gesammelten Proben ist die Herkunft angegeben.

1. NW Niedereschach

S Bleiglanzbank (Grenze mu_1/mu_2).
G Lumachellöser Dolomit.
M Bleiglanz, meist pseudomorph nach Muschelschalen.
L Schalch (1907), p. 80.

2. Strasse Villingen—Obereschach, ca. 1 km SW Obereschach

Proben aus der Schalch'schen Sammlung.

S mu_1
G Trochitischer Dolomit mit schlecht erhaltenen Muschelschalen.
M Tennantit ($a_0 = 10{,}217$ Å) als unregelmässige Körner und würfelige Kristalle; das Tetraeder ist nur selten angedeutet. Rotbrauner Strich.
Bornit bildet bis 0,2 mm grosse Einschlüsse im Tennantit.
Kupferkies bildet selten Einschlüsse in Tennantit.
Covellin: in einem korrodierten Tennantitkorn.
Pyrit: Feinkörnig in der Grundmasse.
Verschiedene Sekundärmineralien.
L Schalch (1899), p. 30.

3. Unterguggenbühlhof bei Obereschach

Probe aus der Schalch'schen Sammlung.

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.
G Mittelkörniger, sehr dichter Dolomit. Keine Fossilien.
M Bleiglanz: Unregelmässige Körner bis 4 mm.

4. Sommertshauser Halde, 3,5 km N Villingen

S Bleiglanzbank sowie je etwa 6 m des Liegenden und des Hangenden. Erzführend ist eine Bank 4,2 m unter der Bleiglanzbank, die Bleiglanzbank sowie der Mergel direkt über und unter derselben.
G Mittelkörnige Dolomite mit nur noch vereinzelt erkennbaren Fossilresten.
M Tennantit: Unregelmässige Aggregate mit Kupferkies und Pyrit bis 2 cm.
Bleiglanz: Unregelmässige Körner bis 5 mm. Fehlt stellenweise.
Kupferkies: Immer mit Fahlerz verwachsen.
Covellin: Zusammen mit Kupferkies in Bleiglanz, bis 0,2 mm.
Pyrit: Äusserst feinkörnig in der Grundmasse, bildet auch grössere Aggregate.

5. Goldene Bühl, 2 km N Villingen

S mu_1, 35 cm über Buntsandstein-Wellengebirge-Kontakt.
G Stark sandiger, feinkörniger Dolomit. Vereinzelt Muscheln.
M Pyrit bildet bis 2 cm grosse Anhäufungen von kleinen Körnern.
Fahlerz: begleitet die Pyritkörner, bis 0,3 mm.
Bornit: Körner bis 0,5 mm mit Fahlerz und Pyrit vergesellschaftet.
Covellin: Winziger (0,025 mm) Einschluss in Bornit.
Malachit und Azurit: Sehr häufig auf Klüften und Schichtflächen.

6. Haubenbühl, ca. 1 km W Villingen

Probe aus der Schalch'schen Sammlung.

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.
G Mittelkörniger Dolomit, drusig, Fossilien sind schlecht erhalten.
M Bleiglanz: Ziemlich reichlich, oft pseudomorph nach Muschelschalen.

Eisensulfid: Langgestreckte, fetzige Aggregate, unabhängig vom Bleiglanz.

7. NE Tannheim r 34 57 00 h 53 19 500

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2 (1) sowie Bänkchen in der Höhe der Spiriferinenbank (2).
G Mittelkörniger Dolomit (1), lumachellöser Kalk (2).
M Bleiglanz: Unregelmässige Körner bis 2 mm. (1) u. (2).
Zinkblende, Typus 1, bis 1 mm (2).
Pyrit: Sehr feinkörnig in der Grundmasse (1).

8. Oberer Weiher bei Wolterdingen r 34 57 300 h 53 16 700

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.
G Relativ grobkörniger Dolomit, drusig.
M Körner bis 5 mm, Einschlüsse in vererztem Holz.
Pyrit: Feine Körner in der Grundmasse.
Malachit: In Drusen, wohl verwittertes Kupferkies.
L Schalch (1904), p. 11/12.

9. Rechtes Gauchachufer, NE Dittishausen r 34 53 100 h 53 08 700

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.
G Mittelkörniger Dolomit mit Mergelzwischenlagen.
M Bleiglanz: Oft pseudomorph nach Muschelschalen, bis 8 mm.
Pyrit: Feinste Körner in der Grundmasse.
Malachit: In Drusen und auf Klüften.

10. NE Eulenmühle, Gauchachtal r 34 56 00 h 53 07 500

S Aufschluss von der Untergrenze des Wellengebirges bis zur Bleiglanzbank reichend. Erzführend sind zwei Bänke 5 m über dem Kontakt (1) sowie die Bleiglanzbank (2).
G Feinkörniger Dolomit mit Quarzkörnern (1), lumachellöser Dolomit (2).
M Fahlerz: Körner bis 1 cm mit Kupferkies und Zinkblende (1).
Zinkblende: Einschlüsse im Fahlerz, bis 5 mm (1).
Kupferkies: Im Fahlerz (1), in Drusen (2).
Bleiglanz: Unregelmässige Körner bis 3 mm, oktaedrische Kristalle in Drusen (2).
Pyrit: Sehr feinkörnig in der Grundmasse (1) u. (2).
L Schalch (1904), p. 12.

11. E Schattenmühle, Wutachschlucht Koord. 666.800/299.850

S Aufschluss von der Bleiglanzbank ca. 15 m ins Hangende reichend. Erzführend sind die Bleiglanzbank (1), die Mergel direkt unter und bis 6 m ins Hangende von ihr (2), ein Bänkchen 8 m über der Bleiglanzbank (3) sowie eine Bank 11 m über der Bleiglanzbank (4).

G Mittelkörniger Dolomit (1), Dolomitmergel (2), Dolomit (3), sehr feinkörniger, strukturloser Kalk (4).

M Bleiglanz (1), (2), (4).
Zinkblende (Typ 2): Kleine Körner in (1). Typ 1: Körner bis 2 mm in (4).
Kupferkies: In (1), (2) u. (3), oft im Fahlerz verwachsen.
Fahlerz: In (1), (2) u. (3), verdrängt Kupferkies.

L Paul (1971), p. 50.

12. Dietfurt, 2 km E Schattenmühle Koord. 667.550/299.700

S Zwei Bänke ca. 9 m über der Spiriferinenbank (mu_3).

G Feinkörniger, z. T. lumachellöser Kalk, partiell dolomitisch.

M Bleiglanz: Einschluss in Knochensplitter.
Kupferkies: Sehr unregelmässige Körner bis 0,2 mm.
Fahlerz: Verdrängt einzelne Kupferkieskörner.
Pyrit: Kleine Körner in der Grundmasse.

L Paul (1971), p. 52.

13. Bonndorf, westlicher Ortsteil Koord. 667.200/296.750

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2 sowie direkt Hangendes und Liegendes. Erzführend ist ein Stück Schwemmholz 1,1 m unter der Bleiglanzbank (1), die Bleiglanzbank (2) sowie der Mergel direkt im Hangenden der Bleiglanzbank.

G Gagatkohle (1), grobkörniger Dolomit (2), Dolomitmergel (3).

M Bleiglanz: In (1), (2) u. (3).
Zinkblende (Typ 2): In (2). Wird von Kupferkies und Bleiglanz umwachsen. Bis 0,5 mm.
Kupferkies: Unregelmässige Körner um Zinkblende, bis 0,2 mm (2).
Fahlerz: Verdrängt stellenweise das Kupferkies.
Pyrit: In (1), (2) u. (3).
Markasit: Hauptmineral in (1), z. T. sehr feinkörnig (Melnikowit).

14. SE Bonndorf Koord. 667.800/296.500

S Dolomite des mu_1.

G Trochitische, grobkörnige Dolomite.

M Bleiglanz: Unregelmässige Körner, in Knochen.

15. E Lausheim Koord. 676.800/296.100

S Bleiglanzbank, direkt Liegendes und Hangendes. Vererzt sind die Bleiglanzbank sowie die direkt liegenden und hangenden Mergel.

G Mittelkörniger, lumachellöser Dolomit mit rel. vielen Knochenresten.

M Bleiglanz: Häufig pseudomorph nach Muschelschalen (bis 2 cm). Häufig auch in Knochen. Im Mergel.
Kupferkies: Relativ selten, meist mit Bleiglanz verwachsen
Zinkblende: Winzige Einschlüsse in Bleiglanz.
Pyrit: Feinkörnig in der Grundmasse. Häufig im Mergel.

16. SE Lausheim Koord. 677.500/295.600

S Obere Hälfte des mu_2 (Wellenkalk).

G Mittelkörniger Dolomit mit vielen röhrenförmigen Gebilden (Grabgänge oder Wohnbauten).

M Bleiglanz: Selten am Rande einer der erwähnten Röhren.

17. Weilertunnel N Grimmelshofen Koord. ca. 679/295

S Funde im Aushub des Tunnels. Nach Schalch (1893) befindet sich der ganze Tunnel im mu_2 und mu_3.

G Mittelkörniger Dolomit (1), feinkörniger, toniger Kalk mit Bauröhren von Würmern (?) (2), dolomitischer Siltstein (3), dünnes Bonebed auf tonigem Kalk (4).

M Bleiglanz: Unregelmässige Körner in (1), (2) u. (4), bei (3) auf Kluft mit Fahlerz.
Zinkblende (Typ 2): Sehr reichlich in (1). Bis 2 mm.
Fahlerz (Tennantit): Bei (3) mit Bleiglanz auf Kluft, selten in der Grundmasse.

L Schalch (1893).

18. SW Grimmelshofen Koord. 679.100/292.900

S Aufschluss in den Orbicularismergeln am Wutachufer.

G Lumachellöser Kalk, feinkörnig mit grobkörnigen Partien, vererzte Partien sind teilweise dolomitisiert.

M Pyrit und Markasit: Bilden verwachsen grössere Aggregate (bis mehrere cm). Der Markasit ist jünger als der Pyrit. Selten feinkörniger Melnikowit.

Zinkblende (Typ 2): Um Muschelschalen angereichert, in Drusen Kristalle bis 2 mm.
Kupferkies: Körner bis 1 mm in der Grundmasse, in Drusen Kristalle.
Bleiglanz: Selten, bis 2 mm grosse Körner in der Grundmasse.

19. W Weizen Koord. 676.100/292.450

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.
G Mittelkörniger Dolomit mit schlecht erhaltenen Fossilien.
M Bleiglanz: Oft preudomorph nach Muschelschalen, bis 5 mm. Einzelne Bleiglanzkörner werden von Ankeritäderchen durchschlagen, diese sind innerhalb der Bleiglanzkörner verdreht und verwischt.
Pyrit: Sehr feine Körner in der Grundmasse.

20. Salzbohrung Siblingen (1913) Koord. 681.090/285.190

Proben im Besitz der Stadt Schaffhausen

Das Wellengebirge wurde von 352 m — 377,2 m angetroffen (Endteufe). Der erzführende Bereich umfasst das mu_3 und das oberste mu_2.

Bei 353,2 m: Mergelkalk mit Bleiglanz und Zinkblende (Typ 1).
Bei 355,5—361,8 m: Mergel und Mergelkalke mit z. T. reichlich Zinkblende (Typ 1, stellenweise zu Aggregaten bis 1 cm angereichert), selten Bleiglanz (bis 4 mm).
Bei 362,2 m: Siltiger Kalk mit Pyrit und Kupferkies (bis 0,2 mm).
Bei 371,7 m: Siltiger Kalk mit Kupferkies und selten Bleiglanz.
Bei 373,6 m: Mergelkalk mit Bleiglanz (bis 1 mm) und viel Pyrit.
Bei 376,45 m: Bräunlicher, lumachellöser Kalk mit Bleiglanz (bis 0,5 mm) und Zinkblende (Typ 1).
Bei 376,6 m: Mergelkalk mit Bleiglanz und Zinkblende (Typ 1).
Bei 377,0 m: Bleiglanz: sternförmige, plattige Körner im Mergel.
Bei 377,2 m: Stark siltiger Kalk mit Bleiglanz, Zinkblende und viel Pyrit.

Literatur: Schalch (1916), p. 10.

21. Weilertal, NW Stühlingen Koord. 674.700/289.500

S Aufschluss in der oberen Hälfte des mu_2. Erzführend ist eine ca. 1 m mächtige Serie von Kalken und Mergeln, 3 m über der Deckplatte (1) sowie die Spiriferinenbank (2).

G Lumachellöse Kalke (1), (2), Kalkmergel (1).

M Bleiglanz: In Mergeln und Kalken von (1), in Druse von (2).
Zinkblende (Typ 1): In Mergeln und Kalken von (1), als Körner, oft auch Muschelschalen vererzend.
Kupferkies: Einzelnes Korn in Mergel von (1).
Gediegenes Arsen: In zwei Kalkbänken von (1) eng mit Bleiglanz verwachsen, bis 0,5 mm.
Pyrit: In der Grundmasse der Kalke, in den Mergeln.

L Frank (1928), p. 37—38. Paul (1971), p. 52. Schalch (1912), p. 25—26.

22. S Stühlingen Koord. 675.150/287.850

S Deckplattenregion, mu_2.

G Feinschichtiger, sand- und glimmerreicher Kalk (siltsteinartig).

M Kupferkies: Unregelmässige Körner bis 0,2 mm, oft zu Schwärmen angereichert, voll von Nebengesteinseinschlüssen.
Pyrit: Feinste Körner in der Grundmasse.

L Schalch (1912), p. 27.

23. Tandlekofen bei Bettmaringen Koord. 668.4/288.6

Probe aus der Schalch'schen Sammlung.

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Feinkörniger lumachellöser Kalk mit Trochiten.

M Bleiglanz: Ziemlich reichlich, meist pseudomorph nach Muschelkalken.

24. S Mauchen Koord. 670.600/285.700

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Feinkörniger, lumachellöser Kalk, beginnende Dolomitisierung an Muschelschalen.

M Bleiglanz: Oft pseudomorph nach Muschelschalen, in Knochen.
Zinkblende (Typ 2): Körner bis 1 mm, lagig angereichert.
Eisensulfid: Aggregate bis 5 mm, nie zusammen mit den anderen Erzmineralien.

25. Obereggingen Koord. 670.850/283.900

S Oberstes mu_2.

G Feinkörniger Kalk mit grossen Schalenresten, stark drusig.

M Bleiglanz: Körner bis 0,2 mm in der Grundmasse.
Kupferkies: Körner bis 0,1 mm, meist zusammen mit Bleiglanz.
Pyrit: Feinste Körner in der Grundmasse, oft oxidiert.
Malachit: Selten in Drusen.

26. NW Untermettingen Koord. 667.450/284.150

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Feinkörnige, lumachellöse Kalkbank, beginnende Dolomitisierung an Muschelschalen.

M Bleiglanz: Meist sehr feinkörniger Staub in der Grundmasse, auch Einschlüsse in den neugebildeten Dolomitrhomboedern.
Zinkblende (Typ 2): Hypidiomorphe Körner, wird oft von Bleiglanz umkrustet.
Pyrit: Körner bis 0,1 mm in der Grundmasse.

27. SSW Ühlingen Koord. 665.750/284.380

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Feinkörnige, lumachellöse Kalkbank mit Trochiten. Schalen z. T. dolomitisiert.

M Bleiglanz: Unregelmässige Körner, feiner Staub in der Grundmasse.
Zinkblende (Typ 2): Körner bis 2 mm, oft mit Bleiglanz verwachsen.

L Schalch (1873), p. 32 und Profil 3 in Beilage.

28. Aispel bei Indlekofen Koord. 657.750/279.500

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Stark limonitische, lumachellöse Kalkbank mit Trochiten.

M Bleiglanz, bis 2 mm.
Cerussit: In Drusen kleine Kristalle.

29. S Schmitzingen Koord. 657.700/276.700

Die Probe wurde mir von Herrn E. Wälchli, Frick, zur Verfügung gestellt.

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Feinkörniger Dolomit, lumachellös.

M Bleiglanz, bis 6 mm.
Zinkblende (Typ 2): Idiomorphe Körner, wird oft von Bleiglanz und Kupferkies umwachsen.

Kupferkies: Verwachsen mit der Zinkblende und in der Grundmasse.
Pyrit: Feinste Körner in der Grundmasse.

30. Strasse Schmitzingen—Waldshut Koord. 657.800/276.900

S Aufschlüsse vom Buntsandstein bis zur Spiriferinenbank. Vererzt sind vier Bänke 5,5 m über dem Buntsandstein (1), eine Bank einige Meter über der Deckplatte (2) und eine Bank 80 cm über der Spiriferinenbank (3).

G Mittelkörniger Dolomit (1), lumachellöser, feinkörniger Kalk (2) u. (3).

M Bleiglanz: Unregelmässige Körner in (1), pseudomorph nach Muschelschalen in (2), in Knochen (3).
Pyrit: Stäbchenförmig (1), Aggregate von Einzelkörnern (3).

31. Bohrungen im Gipsbergwerk Felsenau Koord. ca. 657/273

S Zwei Bohrungen vom mittleren Muschelkalk bis in den Buntsandstein. Vererzt sind eine Bank 1,9 m unter der Bleiglanzbank (1), die Bleiglanzbank (2), die direkt hangenden Mergel (3), eine Bank 4,1 m über der Bleiglanzbank (4) und eine Bank ca. 14 m über der Bleiglanzbank (5).

G Feinkörniger Dolomit (1), lumachellöser Kalk, ziemlich stark dolomitisiert (2), Dolomitmergel (3), grobkristalliner Kalk (4), feinkörniger Calcarenit (5).

M Bleiglanz: In (2), in (3) als Einschlüsse in Pyritstäbchen.
Zinkblende (Typ 2): In (1) u. (4). Typ 1: In (5).
Tennantit: Schlechte Tetraeder bis 1 mm in (5).
Kupferkies: Bei (5) Einschlüsse in Tennantit.
Pyrit: Überall vorhanden.
Markasit: Zusammen mit Zinkblende (Typ 2) in (4).

32. Strasse Dogern—Birkingen Koord. 654.250/274.100

S Oberstes mu_2.

G Feinkörnige, stark lumachellöse Kalkbank.

M Bleiglanz: Pseudomorph nach Muschelschale, bis 4 mm.
Kupferkies: Körner bis 0,5 mm mit Bleiglanz verwachsen und in der Grundmasse.
Pyrit: Körner unter 0,1 mm reichlich in der Grundmasse.

33. Strasse zwischen Dogern und Boland Koord. ca. 654/274—275

Probe aus der Schalch'schen Sammlung.

S Bleiglanzbank, mu_1/mu_2.

G Lumachellöse Kalkbank.
M Bleiglanz, unregelmässige Körner, in Druse kuboktaedrischer Kristall.
Pyrit: Bis 0,2 mm gross in der Grundmasse.

34. Etzgen Koord. 650.050/268.570

S Aufschluss reicht von ca. 2 m im Liegenden bis etwa 8 m ins Hangende der Bleiglanzbank. Erzführend ist die Bleiglanzbank (1) sowie eine Bank ca. 5 m höher (2).
G Feinkörnige, lumachellöse Kalkbänke, Schalen z. T. dolomitisiert.
M Bleiglanz: Körner bis 5 mm in (1), in (2) selten und klein.
Zinkblende (Typ 2): Körner bis 1 mm oft um Schneckenschalen in (2).
Fahlerz: Körner bis 0,5 mm in der Grundmasse von (2).
Kupferkies: Einschlüsse im Fahlerz, begleitet die Zinkblende.
Pyrit: Einschlüsse im Fahlerz, framboidal.
Markasit: Aggregate bis 2 cm in (1) u. (2), unabhängig von den anderen Erzen.

35. W Rheinsulz Koord. 648.040/267.750

S Orbicularismergel, mu_2.
G Dunkelbraune, lumachellöse Kalkbank.
M Bleiglanz: Körner bis 0,7 mm mit vielen Nebengesteinseinschlüssen, z. T. Muschelschalen vererzend.
Pyrit: Körner bis 0,1 mm in der Grundmasse.

36. Waldrand westlich des Rohrhofs bei Zuzgen AG

Probe aus der Schalch'schen Sammlung. Koord. ca. 634/263

S Wellendolomit mu_1.
G Grobkörniger, strukturloser Dolomit, vereinzelte Trochiten.
M Bleiglanz: Unregelmässige Körner bis 7 mm.
Kupferkies: Fetzige Aggregate bis 1 mm im Bleiglanz.

37. Rheinufer E Kaiseraugst Koord. 622.500/265.525

S Zwei Dolomitbänke des mu_1.
G Grobkörnige, trochitische Dolomite mit wenig Calcit.
M Bleiglanz: Seltene unregelmässige Körner bis 2 mm, auch in Knochen.
L Disler (1914), p. 48—50. Wiener (1975).

38. Salzbohrung Wilchingen (1921) Koord. 676.800/281.110

Proben im Besitz der Stadt Schaffhausen.

Das Wellengebirge wurde von ca. 261 m — 277,23 m (Endteufe) angetroffen.

Zinkblende (Typ 1) tritt von 260 m bis zur Endteufe in allen Gesteinen (Mergel, Dolomite, Mergelkalke, Anhydrit) auf, immer als unregelmässig eingesprengte Körner bis 1 mm.

Bleiglanz tritt bei 260,9 m — 261,2 m in Körnern bis 1 mm auf.

Der ganze Komplex führt noch Gips und Anhydrit, Makrofossilien fehlen. Es handelt sich um die Grenzzone zwischen mu_3 und mm.

39. Erzmineralien im Wellengebirge einiger Tiefbohrungen in der Nordschweiz

Ausserhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes wurden die Kerne aus dem unteren Muschelkalk der Bohrungen Kreuzlingen 1, Berlingen 1 und Pfaffnau 1 untersucht, um Anhaltspunkte über die weitere Verbreitung der Erze nach Süden und Osten zu gewinnen. Erwähnt werden die Erzmineralien von Büchi et al. (1965).

Im Bereich dieser Bohrungen ist der untere Muschelkalk in zwei Abschnitte aufgeteilt: Die untere Hälfte ist sandig entwikkelt (Basissand), die obere Hälfte entspricht der Ausbildung am Schwarzwaldrand.

Im Basissand der drei Bohrungen konnten folgende Erzmineralien festgestellt werden:

Kupferkies: Häufig in kleinen Drusen zwischen grösseren Quarzkörnern, oft gut kristallisiert. In der Bohrung Kreuzlingen 1 als konkordante Lage (bei —2531 m).

Bleiglanz: Nur in der Bohrung Kreuzlingen 1 zusammen mit Kupferkies auf einer Kluft.

In der Bohrung Berlingen 1 konnte in einer Kalkbank aus der oberen Hälfte des mu Kupferkies nachgewiesen werden.

Die Erzvorkommen im Basissand sind viel stärker sekundär umgelagert als dies in der Normalfazies des Wellengebirges der Fall ist, sie sind aber offensichtlich auch synsedimentären Ursprungs. Die Vererzungen im unteren Muschelkalk erstrecken sich also noch über ein viel grösseres Gebiet als dies anhand der Übertagaufschlüsse sichtbar ist.

LITERATURVERZEICHNIS

von ALBERTI, F. (1834): Beitrag zu einer Monographie des Buntsandsteins, Muschelkalks und Keupers und die Vereinigung dieser Gebilde zu einer Formation. — Cotta, Stuttgart-Tübingen.

AMSTUTZ, G. C. (1959): Syngenese und Epigenese in Petrographie und Lagerstättenkunde. — Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 39, 1—84.

BERG, D. (1961): Geologie des Schwarzwaldrandes zwischen Badenweiler und Kandern. — Berichte der natf. Ges. zu Freiburg i. Br., Bd. 51/1.

BRONGERSMA-SANDERS, M. (1965): Metals of Kupferschiefer supplied by normal sea water. — Geol. Rdsch. 55, 365—375.

BÜCHI, U. P., LEMCKE, K., WIENER, G., ZIMDARS, J. (1965): Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens. — Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. Ing. 32/82, 7—38.

DEECKE, W. (1921—22): Der palaeogeographische Charakter des germanischen Muschelkalk-Binnenmeeres. — Verh. der natf. Ges. Basel, Bd. 33.

DEGENS, E. T. (1968): Geochemie der Sedimente. — FERDINAND ENKE, Stuttgart.

DISLER, C. (1914): Stratigraphie und Tektonik des Rotliegenden und der Trias beiderseits des Rheins zwischen Rheinfelden und Augst. — Verh. der natf. Ges. Basel, Bd. 25, 1—96.

FABRICIUS, F. (1962): Die Strukturen des «Rogenpyrits» (Kössener Schichten, Rät) als Beitrag zum Problem der vererzten Bakterien. — Geol. Rdsch. 51, 647—657.

FRANK, M. (1928): Zur Stratigraphie des Wellengebirges im südlichen Schwarzwald. — Jh. d. Ver. f. vaterl. Natkd. i. Württemberg 84, 24—60.

FÜCHTBAUER, H., GOLDSCHMIDT, H. (1965): Beziehungen zwischen Calciumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. — Geol. Rdsch. 55, 29—40.

GEYER, O. F., GWINNER, M. P. (1968): Einführung in die Geologie von Baden Württemberg. — 2. Aufl. E. SCHWEIZERBART, Stuttgart.

GRAESER, S. (1965): Die Mineralfundstellen im Dolomit des Binnatales. — Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 45/2, 597—795.

GRAESER, S. (1971): Mineralogisch-geochemische Untersuchungen an Bleiglanz und Zinkblende. — Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 51, 415—442.

HOFMANN, F. (1974): Mineralien des Kantons Schaffhausen. — Njbl. d. natf. Ges. Schaffhausen 26.

HOLENWEG, H., STEHLIN, H., GRAESER, S. (1972): Kupferkies und Malachit im Schweizer Jura. — Schweizer Strahler 2/9, 297—299.

KULLERUD, G. (1953): The FeS-ZnS system. A geological thermometer. — Norsk geol. Tidsskr. 32, 61—147.

LOVE, L. G. Early diagenetic pyrite in fine-grained sediments and the genesis of sulphide ores. — In: Sedimentology and ore genesis. Developments in Sedimentology 2, 11—17.

MERKI, P. (1961): Der obere Muschelkalk im östlichen Schweizer Jura. Eclogae geol. Helv. 54/1, 137—220.

PAUL, W. (1971): Die Trias. In: Die Wutach. — Freiburg i. Br. p. 37—194.

RAMDOHR, P. (1960): Die Erzmineralien und ihre Verwachsungen. — Akad. Verlag, Berlin.

SCHALCH, F. (1873): Beiträge zur Kenntnis der Trias am südöstlichen Schwarzwald. — Diss. Univ. Würzburg. Brodtmann'sche Buchhandlung, Schaffhausen.

SCHALCH, F. (1893): Die geologischen Verhältnisse der Bahnstrecke Weizen—Immendingen. — Mitt. d. grossherzogl. bad. geol. Landesanst. 2.

SCHALCH, F. (1899): Erläuterungen zu Blatt 110, Villingen, der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst.

SCHALCH, F. (1904): Erläuterungen zu Blatt 120, Donaueschingen, der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst.

SCHALCH, F. (1906): Erläuterungen zu Blatt 132, Bonndorf, der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst.

SCHALCH, F. (1907): Nachträge zur Kenntnis der Trias am südöstlichen Schwarzwald. — Mitt. bad. geol. Landesanst. 5, H. 1, 67—142.

SCHALCH, F. (1912): Erläuterungen zu Blatt 144, Stühlingen, der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst. und schweiz. geol. Komm.

SCHALCH, F. (1922): Erläuterungen zu Blatt 157, Griessen, der Geologischen Spezialkarte des Grossherzogtums Baden 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst. und schweiz. geol. Komm.

SCHMIDT, M. (1907): Das Wellengebirge der Gegend von Freudenstadt. — Mitt. d. geol. Abt. d. kgl. württ. stat. Landesamtes 3, 1—99.

SIMON, Th. (1977): Zur Kenntnis des Unteren Muschelkalkes im Raum Krautheim-Dörzbach (Hohenlohe). — Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. N. F. 59, 113—145.

VOGT, H. H. (1978): Würmer fungieren als «Bleispeicher». — Kosmos 5/78, 318—319.

WAGNER, G. (1956): Muschelkalkmeer und Tethys. — Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. NF 38, 77—81.

WEDEPOHL, K. H. (1953): Untersuchungen zur Geochemie des Zinks. — Geochim. cosmochim. Acta 3, 93—142.

WEDEPOHL, K. H. (1956): Untersuchungen zur Geochemie des Bleis. — Geochim. cosmochim. Acta 10, 69—148.

WEDEPOHL, K. H. (1967): Geochemie. — Slg. Göschen, Bd. 1224/1224 a/1224 b, Walter de Gruyter & Co, Berlin.

WEISS, A., AMSTUTZ, G. C. (1966): Ion-Exchange Relations on Clay Minerals and Cation Selective Membrane Properties as Possible Mechanisms of Economic Metal Concentration. — Mineralium Depos. 1, 60—66.

WIENER, G. (1975): Ein Vorkommen von gediegenem Kupfer im Buntsandstein des Tafeljura (Kaiseraugst, Kt. Aargau). — Eclogae geol. Helv. 68/1, 229—237.

WURSTER, P. (1968): Palaeogeographie der deutschen Trias und der palaeogeographische Charakter der Lettenkohle in Südwestdeutschland. Eclogae geol. Helv. 61/1, 157—166.

GEOLOGISCHE KARTEN

HANTKE, R. (1967): Geologische Karte des Kantons Zürich und seiner Nachbargebiete, 1 : 50 000. — Vjschr. natf. Ges. Zürich 112/2.

SCHALCH, F. (1899): Blatt 110 Villingen. Geol. Spez.-Karte des Grossherzogtums Baden, 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst.

SCHALCH, F. (1904): Blatt 120 Donaueschingen. Geol. Spez.-Karte des Grossherzogtums Baden, 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst.

SCHALCH, F. (1906): Blatt 132 Bonndorf. Geol. Spez.-Karte des Grossherzogtums Baden, 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst.

SCHALCH, F. (1912): Blatt 144 Stühlingen. Geol. Spez.-Karte des Grossherzogtums Baden, 1 : 25 000. — Bad. geol. Landesanst. und schweiz. geol. Kommission.