

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

MATERIAUX POUR LA GEOLOGIE DE LA SUISSE
BULLETIN

Nr. 93

herausgegeben von der - publié par la
Schweizerischen Geotechnischen Kommission - Commission Géotechnique Suisse

**Neuere Befunde zur Geologie, zur Lagerstättenkunde und
zum historischen Abbau der Bohnerze und Bolustone der
Region Schaffhausen (Schweiz)**

von

F. Hofmann

1992

In Kommission bei Kummerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

MATERIAUX POUR LA GEOLOGIE DE LA SUISSE
BULLETIN

Nr. 93

herausgegeben von der - publié par la
Schweizerischen Geotechnischen Kommission - Commission Géotechnique Suisse

**Neuere Befunde zur Geologie, zur Lagerstättenkunde und
zum historischen Abbau der Bohnerze und Bolustone der
Region Schaffhausen (Schweiz)**

von

F. Hofmann

1992

In Kommission bei Kummerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Die Naturforschende Gesellschaft Schaffhausen hat in ihren Mitteilungen Nr. 36, 1991 eine Arbeit von F. Hofmann über Bohnerz und Bolustone in der Region Schaffhausen veröffentlicht. Die Schweizerische Geotechnische Kommission freut sich, dass sie diesen Artikel auch in ihre "Kleineren Mitteilungen" aufnehmen kann und dankt dem Autor und dem Redaktor der Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen für ihre Zusammenarbeit.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit einem der grossen Bohnerzgebiete der Schweiz in der Gegend von Schaffhausen. Neben kurzen Hinweisen auf die historische Entwicklung der Bohnerzausbeutung wird die Geologie und die Entstehungsgeschichte der Bohnerzformation eingehend beschrieben. Die lagerstättenkundlichen Erkenntnisse sind in einen grösseren Zusammenhang mit der geologischen Geschichte der Nordschweiz gestellt. Ein abschliessendes Kapitel ist neueren Aufschlüssen in Ton- und vor allem Baugruben gewidmet, in denen z.T. beachtenswerte Bohnerztaschen angetroffen wurden und die Einblicke in die Bohnerzformation gewähren, wie sie in den alten Grubenfeldern nicht mehr möglich sind. Der Artikel stellt eine wertvolle Ergänzung dar zu anderen Arbeiten, die in Zusammenhang mit den Rohstoffvorkommen in der Schweiz stehen und in verschiedenen Publikationen der Schweizerischen Geotechnischen Kommission veröffentlicht worden sind.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Autor allein verantwortlich.

Zürich, Mai 1992

Der Präsident der Schweizerischen
Geotechnischen Kommission

C. Schindler

unveränderter Nachdruck aus:
Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen 36, 1991

Neuere Befunde zur Geologie, zur Lagerstättenkunde und zum historischen Abbau der Bohnerze und Bolustone der Region Schaffhausen (Schweiz)

Newer Findings on the Geologic Environment,
on the Genesis and on Historic Mining of the Deposits
of Pisolitic Iron Ore («Bean Ore») and Bolus Clay
of the Region of Schaffhausen (Switzerland)

Von Franz Hofmann, Neuhausen am Rheinfall

Mit 8 Abbildungen und 3 Tabellen

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung

2. Das Bohnerzgebiet Südranden

3. Diskussion der Entstehung und Beschaffung der Bolustone und Bohnerze des Siderolithikums der Nordschweiz

- 3.1. Allgemeines
- 3.2. Entstehungsbedingungen in der Region Schaffhausen und der weiteren Nordschweiz
- 3.3. Die Bolustone
- 3.4. Die Bohnerze

4. Geologische und altersmässige Stellung der siderolithischen Bolus-Bohnerz-Formation

- 4.1. Die Position der Bolus-Bohnerz-Formation zwischen Mesozoikum und Molasse
 - 4.1.1. Die Auflagerung der Bolus-Bohnerz-Formation auf der mesozoischen Unterlage
 - 4.1.2. Rückschlüsse aus dem Geröllbestand der Juranagelfluh
- 4.2. Diskussion und Altersstellung der Bolus-Bohnerz-Formation
- 4.3. Beziehung zwischen den Bolus-Bohnerz-Bildungen und den siderolithischen Quarzsanden und Huppererden und Fragen der Materialherkunft
- 4.4. Abgrenzung der Bolus-Bohnerz-Formation von jener der Krustenkalke und Gelberden
- 4.5. Herausbildung der heutigen Landschaft des Südrandens und seiner Nachbarschaft

5. "Pseudobohnerze"

- 5.1. Allgemeines
- 5.2. Vorkommen auf dem Hasenberg (Wilchingen/Neunkirch SH)

6. Kartierung der Bohnerzgruben 1 : 5000

- 6.1. Allgemeines
- 6.2. Vorgehensweise bei der Kartierung
- 6.3. Bergbauhistorische und lagerstättenkundliche Ergebnisse der Kartierung

7. Ergänzungen zur Kenntnis der Bolus-Bohnerz-Formation durch direkte Einblicke in Ton- und Baugruben

- 7.1. Auf dem Südranden
 - 7.1.1. Rossberg
 - 7.1.2. Zieglerhau S Guntmadingen
- 7.2. Ausserhalb des Südrandens
 - 7.2.1. Färberwiesli ENE Beringen
 - 7.2.2. Neuhausen am Rheinfall
 - 7.2.3. Tunnel Flurlingen der Nationalstrasse N4
 - 7.2.4. Schaffhausen
 - 7.2.5. Stetten (Reiat)
 - 7.2.6. Lohn (Reiat)
 - 7.2.7. Steinbruch Wippel der Portland-Cementwerke Thayngen AG
 - 7.2.8. Mergelgrube Biberegg ("Almenbühl") der Portland-Cementwerke Thayngen AG
- 7.3. Lagerstättenkundliche und sedimentologische Folgerungen

Verdankungen

Literatur

Geologische Karten

Zusammenfassung

Auf dem Südranden westlich von Schaffhausen liegt das neben dem Delsbergerbeken grösste Bohnerzgebiet der Schweiz und ihrer weiteren Nachbarschaft. Es wurde zwischen 1586 und 1850 im Tagebau bergmännisch bearbeitet. Die in den letzten Jahren durchgeführte Detailkartierung registrierte 3500 ehemalige Erzgruben. Ein 1991 herausgegebener Faltprospekt informiert über Geologie, Eigenschaften und Abbau der Bohnerze und gibt Anleitung zum Begehen von Lehrpfaden.

Die vorliegende Arbeit stellt das Erzgebiet Südranden in einen grösseren Zusammenhang und präsentiert die neuesten geologischen und lagerstättenkundlichen Erkenntnisse. Von besonderem Interesse ist, dass das Erz als terrestrische Rückstandsbildung in Richtung auf den Schwarzwald auf immer älteren Schichten des Malms auflagert. Die mesozoische Unterlage wurde seit dem oberen Jura auf einer Schwellenzone zwischen Aarmassiv und Schwarzwald gegen Norden stetig aus dem Meer gehoben, während die Küste nach Süden wich und die Erzbildung auf dem nun trockengelegten ehemaligen Meeresboden einsetzen konnte.

Diskutiert werden auch die lagerstättenkundlichen Ergebnisse der Detailkartierung nebst Einblicken, die Ton- und vor allem Baugruben in den letzten Jahren in die Bohnerz-Bolus-Formation vermittelten. Sie ergeben zusammen mit historischen Aufzeichnungen ein erheblich erweitertes Bild der Lagerungsverhältnisse der Bohnerzvorkommen und erlauben sedimentologische und entstehungsbezogene Rückschlüsse.

Summary

The second largest deposit of pisolitic iron ore ("bean ore") in Switzerland and its wider surroundings (apart from the basin of Delémont) is located on the tabular Jura west of Schaffhausen. Open pit mining is known from 1586 to 1850. Recent detailed mapping located some 3500 mining holes. In 1991, a folder was edited, with geological and historic information and suggestions for self guided hiking tours.

The present paper discusses the Schaffhausen ore area in connection with the geological history of northern Switzerland and presents the newest state of knowledge. It is of particular interest that the ore deposits as a lateritic residue occur on progressively older sediments of the jurassic substratum towards the Black Forest. The mesozoic base must have been gradually lifted out of the sea in the same direction from the upper Jurassic, whereby the sea shore was shifted towards south. Ore formation started on the now terrestrial sea floor.

The results of mapping are discussed as well as information from recent building excavation outcrops in the ore and accompanying kaolinitic bolus clay formation. In connection with historic mining reports, they supply considerable new information on the genesis and the geological environment of the ore and its properties.

1. Einleitung

Auf dem Südranden wurde zwischen 1586 und 1850 Bohnerz abgebaut und zuerst in Jestetten, dann in Eberfingen und im 18. und 19. Jahrhundert am Rheinfall im Holzkohlehochofen verhüttet. Heute haben die Erze keine wirtschaftliche Bedeutung mehr.

Die bergbauhistorische Bedeutung des Südrandens und die darüber vorliegenden Dokumente wurden von BIRCHMEIER (1986, 1991) einge-

hend bearbeitet und präsentiert, worauf besonders hingewiesen sei. Die vorliegende Arbeit gibt zusätzliche Informationen geologischer und lagerstättenkundlicher Art, die sich aus der Detailkartierung der Bohnerzgruben und aus einigen neueren Einblicken in die Bohnerzformation, insbesondere in Baustellen, ergaben.

1991 wurde ein Faltprospekt als Unterlage und Anleitung für die Begehung der historischen Bohnerz-Grubenfelder*) herausgegeben, und an einigen markanten Punkten wurden Informationstafeln aufgestellt.

2. Das Bohnerzgebiet Südranden

Der "Südranden" (die Bezeichnung ist nicht offiziell, aber zunehmend gebräuchlich) ist der südlich des Schaffhauser Klettgautales gelegene Teil des Tafeljuras. Im eigentlichen Randen wie auch im Südranden besteht der Felssockel aus Meeresablagerungen der Juraformation, im oberen Teil aus den Kalksteinschichten des Weissen Juras (Malm). Die unter den Juraschichten liegenden Triasablagerungen treten wegen der schwachen Schichtneigung von NW nach SE erst im Gebiet von Hallau-Gächlingen-Schleitheim-Beggingen an die Oberfläche.

Die Bohnerzformation, auch *Siderolithikum* genannt, liegt in der Region Schaffhausen als laterit- und roterdeartige Verwitterungsrückstandsbildung auf der genannten Juraunterlage. Sie besteht aus Bolus-tonen und stellenweise darin eingelagerten Bohnerzen. Sie ist auf dem Südranden auf einem Gebiet von rund 8 km² offengelegt und bot sich damit zum Tagebau auf das darauf vorkommende Eisenerz an. Die besonderen geologischen Umstände brachten es mit sich, dass die Bohnerze und die Spuren des historischen Abbaus in dieser Form und Ausdehnung nur auf dem Südranden einsehbar sind. (Abb.1). Diese Tagebaulandschaft auf Eisenerz ist deshalb für die Schweiz und darüber hinaus einmalig. Die noch bedeutenderen Vorkommen im Delsbergerbecken liegen unter Molasseschichten in Tiefen von 60 bis 130 m unter Tage, wurden in Schächten und Stollenbauten erschlossen und sind heute nicht mehr zugänglich (BAUMBERGER, 1923; KÜNDIG & DE QUERVAIN, 1953; KÜRSTEINER et al., 1990).

*) Faltprospekt "Bergbauhistorische Lehrpfade Bohnerz auf dem Südranden", herausgegeben vom Museumsverein, der Naturforschenden Gesellschaft und dem Historischen Verein, alle in Schaffhausen; zu beziehen durch die Schaffhauser Buchhandlungen

Zwischen Delsbergerbecken und Südranden finden sich kleinere, früher ebenfalls gelegentlich abgebaute Vorkommen im Aargauer-, Basler-, Solothurner- und Berner-Jura (BAUMBERGER, 1923). Die Bohnerzformation wurde auch in den Tiefbohrungen Limberg-Küsnacht 1

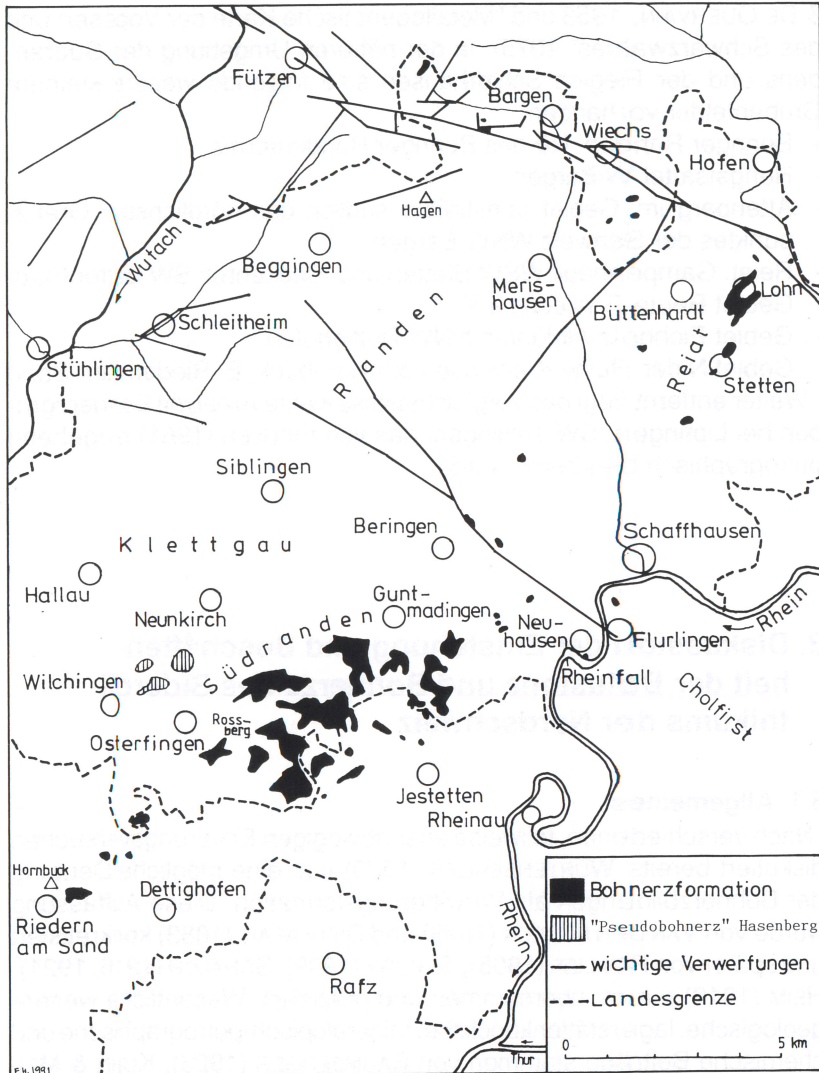


Abb. 1: Übersichtskärtchen der Region Schaffhausen mit ihren Bolus- und Bohnerzvorkommen.

und Eglisau (EPPRECHT, 1963) und in der Nagra-Bohrung Weiach (MATTER et al., 1988) angetroffen.

Über die Nordschweiz hinaus sind siderolithische Bohnerzorkommen auch bekannt aus dem Westschweizer Jura, dem Sundgau (Ferrette), dem Markgräflerland N Basel und den Alpen (siehe auch KÜNDIG & DE QUERVAIN, 1953 und "Metallogenetische Karte der Vogesen und des Schwarzwaldes" 1975). In der näheren Umgebung des Südrandens und der Region Schaffhausen sind folgende weitere kleinere Grubenfelder vorhanden:

- Beringer Randen: NE des Beringer Randenturms
- Hengstsattel W Bagen
- Ättenberg im Gebiet unmittelbar südlich des nördlichsten Grenzpunktes der Schweiz WNW Bagen
- Reiat: Gampenhäuli WSW Stetten und Kleckenrütli SW Büttenhardt
- Gebiet Reute S Wiechs a.R.
- Gebiet Eichholz-Albführen NNW Dettighofen
- Gebiet N der Ruine Krenkingen am Hornbuck, E Riedern am Sand

Weiter entfernt liegt das vergleichsweise kleine Areal mit Bohnerzgruben bei Liptingen, SW Tuttlingen, das von EICHLER (1961) eingehend petrographisch bearbeitet wurde.

3. Diskussion der Entstehung und Beschaffenheit der Bolustone und Bohnerze des Siderolithikums der Nordschweiz

3.1. Allgemeines

Nach verschiedenen, teilweise eher abwegigen Erklärungsversuchen diskutiert bereits WÜRTEMBERGER (1870) u.a. eine mögliche Deutung der Bohnerzbildungen als Verwitterungsformation. Diese Auffassung wurde von VAN DEN BROECK (1878) und DIEULAFAIT (1883) konkretisiert und später von ROLLIER (1905), FLEURY (1909), SCHALCH (1916, 1921), HEIM (1919) u.a.m. übernommen und präzisiert. Wesentliche weitere geologische, lagerstättenkundliche, mineralogisch-petrographische und chemische Beiträge stammen von BAUMBERGER (1923), KUHN & MEIGEN (1924), WITTMANN (1955), EICHLER (1961), SEEGER (1963), EPPRECHT (1963) und SCHREINER (1970, 1983).

3.2. Entstehungsbedingungen in der Region Schaffhausen und der weiteren Nordschweiz

Auch die höchsten (jüngsten) Juraschichten (Tithon) wurden in der Region Schaffhausen noch im Meer abgelagert. Zu Ende der Jurazeit (siehe auch unter 4.1.) wurde aber das ganze Gebiet des heutigen Tafeljuras bis weit in die süddeutsche Alb hinaus und auch das Gebiet des nördlichen Kettenjuras aus dem Meer herausgehoben und trockengelegt. Bis ins beginnende Oligozän war dieser Bereich Festland und damit während sehr langer Zeit dem Einfluss feuchtwarmen, niederschlagsreichen, subtropischen Klimas ausgesetzt. Die aus Kalksteinen und kalkigen Mergeln bestehende obere Zone der Juraformation (oberer Malm = oberer Weisser Jura) verkarstete durch Kalkauflösung, und es entstand eine mit Karrenfeldern der nördlichen Kalkalpen vergleichbare Landoberfläche mit Mulden, Schratten und Kalkrippen und teilweise tief hinunterreichenden Schründen, Taschen und Höhlen. Im oberen Malm häufig auftretende Riffe von Massenkalken waren dabei resistenter als bankige, klüftige Kalksteine mit Mergellagen.

Es wird angenommen, dass die unlöslichen Rückstände der kalkigen und mergeligen Juraschichten (vor allem in Form illitischer Tone, aber auch von freien Eisenhydroxiden und -sulfiden) das Ausgangsmaterial für die Bildung der Bolustone und Bohnerze darstellten. SEEGER (1963) bestimmte an den unlöslichen Rückständen schwäbischer Oberjurakalke (Tithon) mittlere Gehalte an Fe um 12%, an SiO_2 um 62% und an Al_2O_3 um 20%. SCHREINER (1970) nimmt für den östlichen Hegau an, dass zur Bildung von 5 m Bolus und Bohnerz mindestens 100 m Hangende Bankkalke ausgelaugt werden mussten. Es ist allerdings auch damit zu rechnen, dass zusätzlich Material von auswärts auf die verkarstende Jurafläche geschwemmt wurde, wofür die in der Siderolithformation auftretenden Quarzsande sprechen (vgl. 4.3.). Zu beachten ist auch die Art der Auflagerung der Bolus-Bohnerz-Formation auf der mesozoischen Unterlage (vgl. 4.1.1.). Der Anteil der lokalen Lösungsrückstände ist deshalb möglicherweise geringer.

3.3. Die Bolustone

Die lokalen tonigen Verwitterungsrückstände der Juraschichten samt allfällig von auswärts zugeschwemmtem Material wurden durch langfristige Einwirkung aggressiver warmer und saurer Niederschläge teilweise enteisent (Bohnerzbildung) und vor allem auch entkieselt. Aus den

ursprünglich SiO_2 -reichen, illitischen Tonen entstanden kieselsäureärmere, aber entsprechend Al_2O_3 -reichere Bolustone mit dem Haupttonmineral Kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Nach SEEGER wurden aus den ursprünglichen Illit-Tonen bis zu 90% des SiO_2 weggeführt und entsprechend Fe_2O_3 und Al_2O_3 angereichert. Auf der Alb konnte SEEGER stellenweise, aber nicht überall auch Aluminiumhydroxid in Form von Hydrargillit (Gibbsit) nachweisen, was auf die Verwandtschaft mit der Entstehung der südeuropäischen Bauxitvorkommen hinweist.

Weggelöste und wieder ausgeschiedene Kieselsäure findet man in den Bolustonen nicht selten in Form von Quarzaggregaten, ab und zu sogar von kleinen, zweispitzigen, aber trüben Quarzkriställchen.

Daneben ist in den Bolustonen und auch Bohnerzen stets mittel- bis feinkörniger Quarzsand, aber nur in sehr kleinen Mengen, enthalten (z.B. Färberwiesli 0,5%, Grube E Stetten 1,7%, Lohn 0,4 - 2,5%, Hengstsattel um 3%). Dieser Sand ist nicht durch Ausscheidung gelöster Kieselsäure entstanden, sondern detritischer Natur (vgl. 4.3.). Im Ton ab und zu enthaltene Feuersteinknollen (Silex) stammen aus dem Malm.

Reine Kaolinite sind sehr feuerfest (Schmelzpunkt um 1700°C). Die ockerfarbenen, selten auch roten Bolustone sind wegen ihres meist erheblichen Resteisengehaltes (Tabelle I) aber nicht so feuerbeständig. Immerhin werden sie noch heute von der Tonwerk Lohn AG für besondere Schamottesteine verwertet. Früher dienten sie als Steinzeugton (Färberwiesli). Johann Conrad Fischer benützte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ausgesuchte weisse, eisenarme Sorten von Lohn als Rohstoff für die Herstellung von Schmelztiegeln für Stahl (gemischt mit Graphit von Kropfmühl, Bayern, und gemagert mit Graupensand aus der Brackwassermolasse (vermutlich Reiat)). Es sei in diesem Zusammenhang auf die industriegeschichtliche Abteilung des Museums zu Allerheiligen, Schaffhausen, verwiesen.

Die an Erbsenarmen Vorkommen von Bolustonen im Färberwiesli (Beringen) und auf dem Reiat (Lohn, Stetten) sind die grössten der Schweiz (vgl. 7.2.). Sedimentpetrographische, tonmineralogische und technologische Daten finden sich in HOFMANN & PETERS (1969).

3.4. Die Bohnerze

Die langfristige Auslaugungsverwitterung durch die Einwirkung aggressiver Niederschläge löste mit der Zeit das in den Lösungsrückstände der Jurakalke enthaltene Eisen teilweise heraus. Das Eisen stammt

Tabelle I: Daten chemischer Analysen von Erbsen und Boluston.
 Lohn: nach SCHALCH (1921), BAUMBERGER (1923), HOFMANN (1967)
 Delsberg: nach BAUMBERGER (1923)
 Liptingen: nach EICHLER (1961)

	Erbsen			Boluston		
	Lohn	Delsberg	Liptingen	Lohn	Delsberg	Liptingen
Fe	42,8	41,86	38,7	9,3	8,34	15,0
Mn	0,15	0,31			0,09	0,36
Al ₂ O ₃	15,0	13,9	15,3	28,8	31,9	26,3
SiO ₂	11,4	12,06	11,3	43,4	43,65	34,4
P	0,19	0,008			0,033	
S	0,01	0,12			0,22	
CaO	0,17	0,13	0,2	0,23	0,13	0,2
MgO	0,17	0,09	0,3	0,15	0,12	0,2
V	0,04		0,1			
Kristall- wasser	13	13	13	12	12	12

Angaben in Prozenten. Wenn keine Angabe: nicht bestimmt.

nicht nur aus den Tonen, sondern auch aus den in den Kalken immer vorhandenen Eisenhydroxiden und -sulfiden (SEEGER, 1963).

Das Eisen schied sich in Form von Hydroxidgelen wieder aus (möglicherweise unter Mitwirkung von Eisenbakterien) und konzentrierte sich in den typischen Erbsen, die meist erbs- bis nussgross sind, teilweise auch kleiner und gelegentlich auch grösser. Die meist hell- bis dunkelbraunen, glatten Körner zeigen in der Regel schaligen Aufbau als Folge eines konzentrischen, aber offenbar nicht kontinuierlichen Wachstums (Abb. 2). Diese Struktur kann man sich wohl am besten als in kleineren, stehenden Gewässern entstanden vorstellen. Es ist wahrscheinlich, dass dabei Einflüsse jahreszeitlicher Schwankungen (Niederschläge, Wasserstand, zeitweilige Austrocknung, Temperatur) eine Rolle spielten (GUILBERT & PARK, 1986). SEEGER (1963) denkt an eine Bildung im Grundwasserbereich bei Schwankungen des Grundwasserstandes.

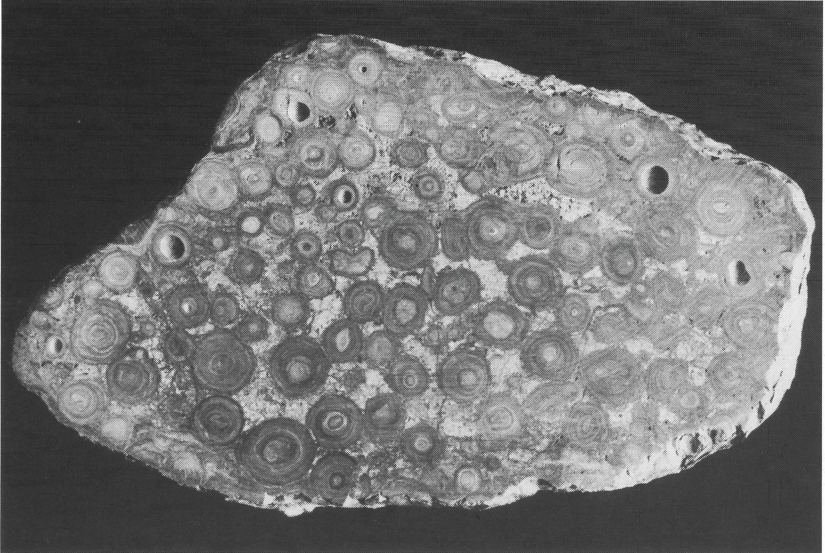


Abb. 2: Anschliffaufnahme einer aus kleineren Bohnerkörnern zusammengesetzten Bohnerknolle, Röti, Neuhausen am Rheinflall (1,25-fach vergrössert). Aufnahme P. Vollenweider, Naturhistorisches Museum Bern.

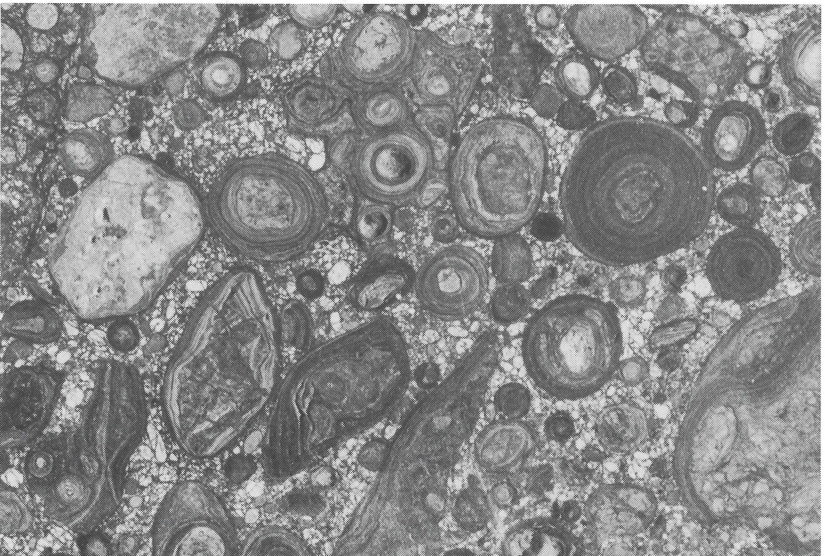


Abb. 3: Anschliffaufnahme von Bohnerz mit sideritischem Zwischenmittel aus einer Spalte im Steinbruch Wippel, Thayngen SH (2,2-fach vergrössert). Aufnahme P. Vollenweider, Naturhistorisches Museum Bern.

Es kam auch vor, dass mehrere kleinere Körner später als Agglomerate weiter umhüllt wurden. Auch Aufspaltungen und Trockenrissbildung sind zu beobachten. Einzelne Körner zeigen oft eine komplizierte Geschichte (Abb. 3). Dabei scheint es (mindestens im Gebiet der Nordschweiz), dass die meisten Bohnerzlager noch mehr oder weniger am Ort ihrer Entstehung liegen und kaum wesentlich verschwenkt wurden, doch gelangten Bolustone und Bohnerze später stellenweise in tektonische Spalten und Karsttaschen (7.2.7.).

Die Erzbohnen bestehen aus "Brauneisenstein", mineralogisch gesehen aus Goethit (Nadeleisenerz), FeOOH mit etwa 13% chemisch gebundenem Wasser (im Gegensatz zu den hochwertigeren, wasserfreien Eisenerzen Hämatit (Fe_2O_3) und Magnetit (Fe_3O_4)). Typische Analysen von Bohnerzen zeigt Tabelle I. Der relativ hohe Gehalt an Al_2O_3 und SiO_2 stammt aus enthaltenem Boluston und erklärt sich aus dem Entstehungsmilieu. EICHLER (1961) stellte im Bohnerz auch relativ hohe Gehalte an Yttrium Y fest, BAUMBERGER (1923) auch solche an Chrom Cr. Untersuchungen an Bohnerzproben aus der Bohrung Limberg-Küsnacht 1 (EPPRECHT (1963) ergaben als Spurenelemente (mit Gehaltsangaben in ppm): Cr 360, Cu 60, Ga 50, Nb 75, Ni 130, Pb 60, Rb 65, U 20, Y 260, Zn 350. Relativ hohe Werte an Zr und Ti stammen aus den stets im Bohnerz und im Boluston enthaltenen Sand-Schwermineralien Zirkon und Rutil.

Die Erzbohnen sind taschen- und flözartig in oder eher unter den Bolustonen gelagert und angereichert, sind aber in den Tonen selbst eher selten oder fehlen praktisch völlig. Dies deutet darauf hin, dass nicht immer zusammen mit Boluston auch Bohnerz entstand (vgl. 6.3. und 7.3.).

4. Geologische und altersmässige Stellung der siderolithischen Bolus-Bohnerz-Formation

4.1. Die Position der Bolus-Bohnerz-Formation zwischen Mesozoikum und Molasse

4.1.1. Die Auflagerung der Bolus-Bohnerz-Formation auf der mesozoischen Unterlage

Die Art der Entstehung der Bolus-Bohnerz-Bildungen im Siderolithikum und ihre Beschaffenheit als Ergebnis intensiver chemischer Umwandlung sedimentärer Rückstände auf der Jurakarstfläche setzt einen sehr langen Zeitraum voraus. Das Siderolithikum ist die einzige bedeu-

tende Bildung, die in der Nordschweiz innerhalb der Schichtlücke von rund 100 Millionen Jahren zwischen dem Ende der Jurazeit und dem Oligozän auftritt.

Probleme der zeitlichen Positionierung und der geologischen Stellung der siderolithischen Rückstandsbildungen ergeben sich aus der Tatsache, dass diese nicht überall in gleicher stratigraphischer Lage auf den jüngsten Schichten der Juraformation auflagern. Dies zeigen einige wichtige Feststellungen aus der Region Schaffhausen (über die Stufen des Mals in der Nordschweiz und im Hegau informiert Tabelle II):

- Auf dem Südranden verringert sich der vertikale Abstand der Bohnerzbildungen von der Obergrenze der Kimmeridge-Mergel ("mittlere

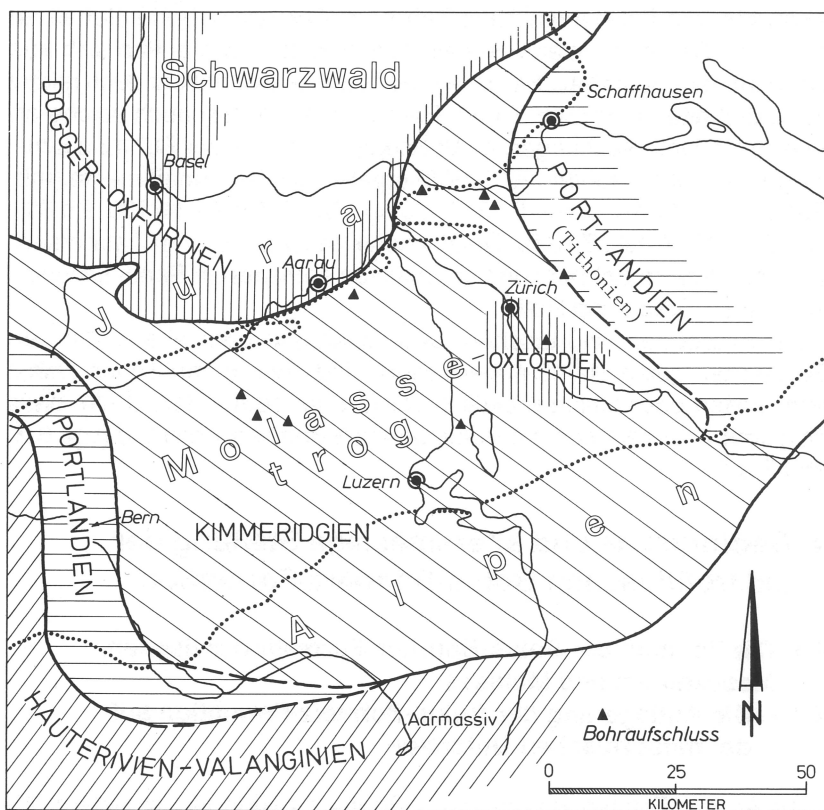


Abb. 4: Paläogeographische Karte der mesozoischen Unterlage des Tertiärs (gleichbedeutend mit der Auflagerungsfläche der Bohnerzformation) zwischen Aarmassiv und Schwarzwald. Nach BÜCHI et al. (1965) und TRÜMPY (1980) in einer Darstellung der Nagra (MÜLLER et al., 1984), ergänzt.

Tabelle II: Vergleichstabelle für den Malm vom Aargauer Jura bis zum Hegau, mit älteren und neuen Stufenbezeichnungen und -Symbolen. Vorwiegend nach SCHALCH (1916/21), GYGI (1969), SCHREINER (1970, 1983) und MÜLLER et al. (1984).

Stratigraphische Stufen		Aargau-Klettgau		Randen-Schaffhausen (* ältere Stufenbezeichnungen)		Randen-Reiat - Hegau		ältere schwäb. Gliederung	neue süd-deutsche Gliederung	Gliederung geol. Atlas Schweiz	
Tithon	unteres						Hangende Bankkalke	≤ 50m	w ₅₃	tiH	i _{8c}
							Zementmergel	≤ 60m	w ₅₂	tiZ	i _{8b}
						* Plattenkalk		Liegende Bankkalke (Ulmensis-Schichten)		35-60m	w ₅₁
Kimmeridge	oberes	Wettinger Schichten		* Massenkalk		Oberkimmeridge-Kalk (Setatus- u. Subemela-Schichten)		18-30m	w _ε	ki3	i _{7c}
	mittleres			* Quaderkalk		Mittelkimmeridge-Kalk (Aulacostephanus-Sch.)		35-40m	w _δ	ki2	i _{7b}
	unteres			* mittlere Malmmergel		Kimmeridge-Mergel		14-22m	w _γ	ki1	i _{7a}
Oxford	oberes	Letzi-Schichten	Wangental-Schichten	Wohlgeschichtete Kalke	Oxford-Kalke (Wohlgebankte Kalke)		90 m	w _β	ox2	i ₆	
		Wangen-Schichten	Küssaburg-Schichten								
		Crenularis-Schicht		Hornbuck-Schichten	Lochen-Schichten		10				
	mittleres	Effinger-Schichten		Impressa-Mergel	Oxford-Mergel		45-50 m	w _α	ox1	i _{5E}	
		Birmenstorfer-Schichten									
unteres	Schellenbrücke-Schicht		Glaukonitsandmergel (Ornatenton)								

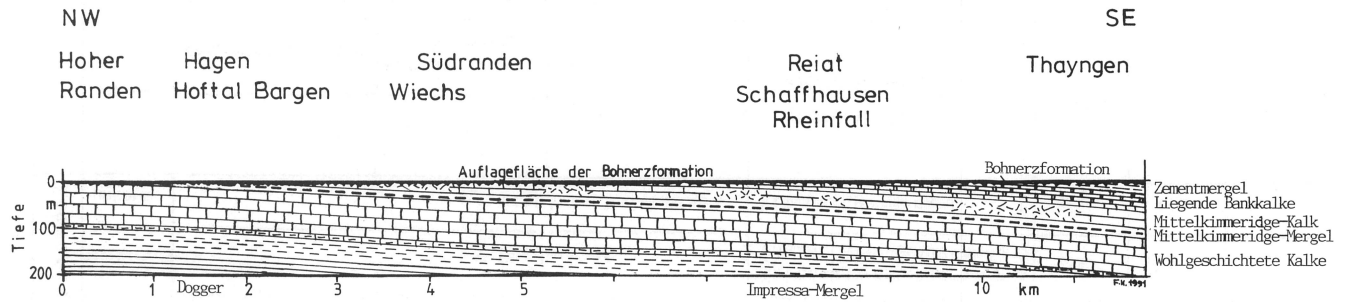


Abb. 5: Schema der Auflagerung der Bohnerzformation auf der Malmunterlage in der Region Schaffhausen. Die Bohnerzformation (Siderolithikum) ist als horizontal lagernd angenommen. Sie liegt Richtung NW diskordant auf immer älteren Malmschichten auf.

- Malmmergel") von etwa 70 m im Gebiet von Jestetten (-Rheinfall) in Richtung NW (Häming-Wannenberg) bis auf etwa 10 m.
- NE des Beringer Randenturms beträgt der obengenannte Abstand etwa 50 m, auf dem Hengstsattel W Barga etwa 10 m.
 - Am Ättenberg, gut 3 km WNW Barga liegt das Bohnerz bereits auf Oxfordkalk (wohlgeschichtete Kalke).
 - Auf dem Reiat (Lohn) lagert der Boluston hingegen rund 100 m über den Kimmeridge-Mergeln auf Liegenden Bankkalken (Tithon) auf.
 - In der Gegend von Liptingen SE Tuttlingen (EICHLER, 1961) liegen die Bohnerze noch wesentlich höher, nämlich auf Hangenden Bankkalken.

Diese Befunde reihen sich zwangslos in einen grösseren Zusammenhang ein, der schon seit längerer Zeit bekannt ist (WITTMANN, 1955; BÜCHI et al., 1965; MÜLLER et al., 1984). In Abb. 4 ist die mesozoische Unterlage des Tertiärs in der zentralen und nördlichen Schweiz und im Südschwarzwald dargestellt, auf der im gleichen Gebiet die Bohnerzbildung direkt auflagert. Die durch Tiefbohrungen sehr gut gesicherte Darstellung lässt eine vom Aarmassiv zum Schwarzwald verlaufende Schwellenzone erkennen, auf der in Richtung auf den Schwarzwald zunehmend ältere Malmschichten die Obergrenze der erhaltenen Juraablagerungen bilden, und nicht etwa einfach die jüngsten Formationen des Malms. Über der nördlichen Randenregion fehlen über der Auflagerungsfläche der Bohnerze im Vergleich zum Reiat über 100 m Malmschichten, die längs einer Zone Thayngen-Rheinfall noch vorhanden sind (Abb. 5). Im östlichen Hegau Richtung Alb kommen über den dort zunehmend entwickelten Zementmergeln auch noch die Hangenden Bankkalke dazu, d.h. nochmals rund 50 m (vgl. SCHREINER, 1970). Unter der Molasse NE des Bodensees sind diese Schichten noch mächtiger erhalten.

Die Auflagerungsverhältnisse der Bohnerzformation in der Randenregion bedeuten, dass in diesem Bereich zur Zeit der Sedimentation der Juranagelfluh (Miozän) kein Abtrag von Juraschichten stattgefunden haben kann (die in den Juranagelfluhen vorkommenden Rogensteingerölle deuten ohnehin auf ein weiter entferntes Einzugsgebiet, das im NW über dem südlichen Schwarzwald anzunehmen ist).

Die jüngsten Malmschichten im Randengebiet, also auf der Aarmassiv-Schwarzwald-Schwelle, müssen somit in Richtung auf den Schwarzwald schon vor der Bildung der Bohnerzformation zunehmend abgetragen worden sein. Es ist aber auch keineswegs auszuschliessen, dass das zur Zeit des oberen Malms ohnehin seicht gewordene Meer seit

dem Ende des Oxfordiens (wohlgeschichtete Kalke) stetig nach Süden zurückwich und dass die über dem Randengebiet fehlenden Kimmeridge- und Tithonschichten gar nicht abgelagert wurden. Der Meeresboden wäre nach dieser Interpretation über der genannten Schwellenzone schon während der Zeit des oberen Malms zunehmend trockengelegt und die Küste nach Süden verschoben worden.

Ähnliche Überlegungen stellte bereits FISCHER (1969) an. Im Oberrheingraben reicht die Erscheinung nach ILLIES (1965) in Richtung N bis zum Nordende des Grabens: von S her lagert das Tertiär vom Oxford im Süden über Dogger, Lias und Trias auf ebenfalls immer älterer Unterlage auf und liegt im Norden auf Paläozoikum.

Vom Schwarzwald liegen wegen völliger Erosion keine Informationen vor. Es ist zu vermuten, dass der Befund vom Oberrheingraben hier ebenfalls galt, angesichts der erwähnten Schwellenzone wohl in noch ausgeprägterer Form. Für das Markgräflerland N Basel lassen die Angaben von WITTMANN (1955) auf deutliche syn- und postgenetische Einflüsse auf die dortigen Bohnerzvorkommen schliessen.

4.1.2. Rückschlüsse aus dem Geröllbestand der Juranagelfluh

Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang auch folgende Beobachtungen: In der älteren und jüngeren Juranagelfluh dominieren Malmkalkgerölle aus der Zone der wohlgeschichteten Kalke (Oxford), und es treten zunehmend Rogensteingerölle auf. Muschelkalkgerölle finden sich erst in den mittleren und höheren Partien der jüngeren Juranagelfluh (Obere Süsswassermolasse), Buntsandstein und vereinzelt Kristallin erst in den höchsten Schichten (SCHREINER 1965, 1983).

Wohlgeschichtete Kalke und ältere Schichten wurden danach über dem Südschwarzwald offenbar erst zur Zeit der Juranagelfluh abgetragen, also nach der Entstehung der Bohnerz-Formation.

4.2. Diskussion der Altersstellung der Bolus-Bohnerz-Formation

Die relativ zahlreichen Wirbeltierfunde aus Bohnerz-Bolus-Taschen stammen ausschliesslich aus dem Alttertiär (STEHLIN, 1903-1916; ROSSEL ET, 1990, daselbst weitere Literaturangaben). Daraus darf aber nicht geschlossen werden, die ganze Siderolithformation wäre nur in dieser Zeit entstanden. Dazu sei SEEMANN (1963) zitiert: "Da kein zwingender Grund für die Annahme vorhanden ist, dass die roten Bolus-Tone nur im Alttertiär entstanden sein sollen, kommt für die Kalkverwitterung mit anschliessender Bolusbildung eigentlich die ganze Zeit seit

dem Rückzug des Jurameeres bis zum Alteoän, in manchen Gebieten eventuell noch das ganze Eozän in Frage." Die gleiche Autorin nimmt zweifellos richtigerweise auch an, dass die Wirbeltierknochen aus der eigentlichen Bildungszeit der Bolustone wegen der auch nachher noch herrschenden extremen Bedingungen vollständig abgebaut wurden. Es ist auch zu bedenken, dass der Verkarstungsprozess während der ganzen zur Diskussion stehenden Zeit andauerte und laufend Umlagerungen stattfinden konnten (ROSSELET, 1990). Für im Eozän in siderolithische Taschen eingeschwemmte Wirbeltierreste waren die Erhaltungsbedingungen besonders gut, weil die ganze Rückstandsformation geologisch wenig später von Molasse eingedeckt und damit konserviert wurde.

Für die Entstehung der Bolus-Bohnerz-Formation weist SEEMANN (1963) wie schon ROLLIER (1905) auf Zusammenhänge mit der Bildung der europäischen Bauxite hin.

4.3. Beziehungen zwischen den Bolus-Bohnerz-Bildungen und den siderolithischen Quarzsanden und Huppererden und Fragen der Materialherkunft

Als Füllungen von Spalten und Karsttaschen im Malm kommen auch in der Region Schaffhausen Quarzsande und eisenarme kaolinitische Huppererden vor, die aber fast nur in temporären künstlichen Aufschlüssen zutage treten (HOFMANN, 1967). Sie sind zweifellos ebenfalls ins Siderolithikum zu stellen, treten aber streng getrennt von den eisenreichen Bohnerzen und Bolustonen auf. Sehr schöne Huppererden nebst Quarzsanden mit kieseligen Fossilrückständen aus dem Malm kamen 1987 in der Baugrube des neuen Hagen-Turms (Koord. 684.630/292.120/905 zum Vorschein.

Sedimentpetrographische Daten von VON MOOS (1936) von Vorkommen in der Nordwestschweiz und damit übereinstimmende eigene Untersuchungen aus der Region Schaffhausen zeigen, dass es sich bei den Quarzsanden und Huppererden nicht um lokale Verwitterungsrückstände aus dem Malm handeln kann, worin keinerlei derartige Sande vorkommen. Sie müssen vielmehr von weiter her zugeführt worden sein. Die Schwermineralfraktion besteht überwiegend aus Zirkon und Rutil mit einem wesentlichen Anteil an stark pleochroitischem, braunem Turmalin (bis 20%) nebst vereinzelt Körnern von Disthen, Andalusit und Topas.

Die in den Bolustonen und Bohnerzen enthaltenen kleinen Anteile von Quarzsanden führen als Schwerminerale ebenfalls Zirkon und viel

Rutil, jedoch meist keinen oder nur selten auftretenden Turmalin. Es fällt trotzdem auch in diesen Fällen schwer, sämtliche Bolustone ausschliesslich als lokale Verwitterungsrückstände zu interpretieren, da in den in Betracht kommenden Formationen des Malms Sande, wie sie in den Bolustonen auftreten, kaum nachweisbar sind. Eine teilweise Herkunft aus weiter entfernten Gebieten ist deshalb wahrscheinlicher.

Der Mineralbestand der siderolithischen Quarzsande und Huppererden mit ihrem hohen Turmalingehalt könnten als stark vom Buntsandstein des Schwarzwaldes beeinflusst interpretiert werden, jener der Bohnerze und Bolustone stimmt sehr gut mit jenem der Sande im tieferen Malm (z.B. Glaukonitsandmergel) und im Dogger (z.B. Wedelsandstein) überein (vgl. Tabelle III und die Untersuchungen von VALETON (1953) und WUNDERLICH (1957)). Angesichts der unter 4.1.1. diskutierten Befunde über die Auflagerung des Siderolithikums auf immer älteren mesozoischen Schichten in Richtung N ergibt sich zwanglos, dass eine Zufuhr von Sanden, aber auch von tonigem Schlamm und allenfalls sogar von zusätzlichem Eisen (Dogger) aus jenem Gebiet (vorzugsweise während der Oberkreide) aus den damals blossgelegten Schichten des Mesozoikums denkbar ist. Die Nordbegrenzung des Vorkommens mariner Schichten der unteren Kreide in der Zentralschweiz (Abb. 4) muss nicht mit der nördlichsten Ausdehnung des Kreidemeeres in der Nordschweiz zusammenfallen. Es könnte zeitweilig weiter nach N gereicht haben. Für die im Siderolithikum auftretenden Quarzsande wären mariner Strömungstransport, fluviale Zufuhr oder eine Kombination beider Arten vorstellbar. Man vergleiche dazu auch die Verhältnisse in Bayern (LEMCKE, 1988, darin weitere Literaturangaben).

Bei Annahme einer Materialzufuhr aus einem Erosionsgebiet im Norden wären wohl zuerst Sande aus dem unteren Malm und dem Dogger und erst später auch solche aus der Trias zugeführt worden. Die Huppererden und Quarzsande wären damit etwas jünger einzustufen als die Bohnerze und Bolustone. WEIDMANN (1984) beschreibt ein Vorkommen von Siderolithikum bei Orbe VD, wo Bolustone mit Bohnerz von Huppersand überlagert wird. Diese Schichten liegen dort auf Urgonkalken (Unterkreide).

4.4. Abgrenzung der Bohnerz-Bolus-Formation von jener der Krustenkalke und Gelberden

Über der Bohnerz-Bolus-Formation, die in der Regel entstehungsbedingt kalkfrei ist, liegt in der Region Schaffhausen eine wenig mächtige

Formation von Krustenkalken und Kaolinitmergeln (Gelberden), im Rheinflallgebiet auch mit Sandwällen. Sie kommt auch im Delsbergerbecken und im Markgräflerland vor und ist am Oberrheingraben mächtiger. Ihr Material besteht in allen Fällen aus aufgearbeitetem und oft wesentlich umgelagertem Siderolithikum (Bolus, Bohnerz, Quarzsande und Huppererden) und ist von Krustenkalken begleitet, die durch aufsteigendes, kalkreiches Wasser entstanden (vgl. HOFMANN, 1967).

Tabelle III: Vergleich der Zusammensetzung der Schwermineralfraktionen von Sanden aus siderolithischen Sedimenten mit jener möglicher Herkunftsformationen

Siderolithikum:	
Huppererden NW-Schweiz (VON MOOS 1936)	(g), Z R t/T (to d s an)
Huppererden Region Schaffhausen	(g), Z R t/T (to d s an)
Quarzsande NW-Schweiz (VON MOOS 1936)	(g), Z R t/T (to d s an)
Quarzsande Region Schaffhausen	(g), Z R t/T (to d s an)
Bolustone Region Schaffhausen	(g), Z R (to d s)
Bohnerze Region Schaffhausen	(g), Z R (to d s)
Mesozoikum Randen-Südschwarzwald:	
Glaukonitsandmergel Oxford-Basis	g, Z R (a)
Wedelsandstein, Dogger, Bajocien	g, Z R
Stubensandstein	G, A Z M r (t)
Schilfsandstein	G/g, A Z R M/m (t)
Buntsandstein S- u. SE-Schwarzwald	g, Z T R/r, m/M (d s an)
Süddeutscher Hauptbuntsandstein (VALETON 1953)	g, T Z a/A r (d s an)

Formelmässige Darstellung nach H. Füchtbauer:

Symbole: grosse Buchstaben: Hauptgemengteil, Anteil über 10 %
 kleine Buchstaben: Nebengemengteil, Anteil 10 bis 2 %
 (kleine Buchstaben) in Klammern: nur akzessorisch vorhanden.

G/g: Granat in Prozenten aller durchsichtigen Schwerminerale

Übrige in Prozenten aller durchsichtigen Schwerminerale ohne Granat:

a A Apatit (kann durch Verwitterung eliminiert sein)
 an Andalusit
 d Disthen
 m M Monazit (kann durch Verwitterung eliminiert sein)
 r R Rutil
 s Staurolith
 t T Turmalin
 to Topas (selten, Herkunft aus Kristallin möglich)
 Z Zirkon

Anordnung der Symbole entspricht Reihenfolge der Häufigkeit.

Wenn ohne Autorangabe: eigene Bestimmungen.

Sie enthält auch aufgearbeitete Jurakalktrümmer. Diese Formation ist jünger als das Siderolithikum, mit dem sie oft verwechselt wurde (vor allem auch am Rheinfluss). Sie ist ins Altoligozän zu stellen, und ihre Ausbildung deutet auf eine Klimaänderung von feuchtwarm zu trockenwarm (semiarid). Es handelt sich aber ebenfalls um eine festländische ± autochthone Bildung, wenn auch mit vielen lokalen Umlagerungen, und sie entstand noch vor der Ablagerung der Molasse.

4.5. Herausbildung der heutigen Landschaft des Südrandens und seiner Nachbargebiete

Abb. 6 zeigt die geologische Stellung des Südranden- und Randengebietes, das am Nordrand des schweizerischen Molassebeckens liegt. Nach dem Ende der Molassesedimentation und bedingt durch die Alpenfaltung und damit verbundene Hebungen lag die Landoberfläche (bezogen auf die heutige Lage) bei rund 1000 m Meereshöhe. Die Molasse keilt am Randen gegen NW aus, wird aber gegen SE zunehmend mächtiger. Nach der Alpenfaltung setzte in deren Vorland massive Erosion ein, die schrittweise zur Herausbildung der heutigen Landschaft führte und etwa in folgenden Hauptetappen verlief:

- Völliger Abtrag der Jura- und weitgehend auch der Triasschichten über dem südlichen Schwarzwald und Herausbildung eines ausgeprägten Erosionsrandes (Albtrauf) am Tafeljura, dem in der Region Schaffhausen der Steilabfall des Randengebietes gegen W und NW entspricht. Zeitraum: Pliozän und ev. Altpleistozän.
- Beginnende Erosion der Molasse. Vermutlich erste Eintiefung der Klettgaurinne, Talbildung auf der Schwarzwaldabdachung. Wutachablenkung aber erst während der Würmeiszeit.
- Massive Erosion (Ausräumung) der Klettgaurinne im Pleistozän, besonders zwischen Mindel- und Risseiszeit. Abtrag der Molasse, die einst das Böhnerz des Südrandens überlagerte, bis auf wenige Relikte.

Über dem stärker exponierten eigentlichen Randen wurde einst vorhandenes Böhnerz weitgehend abgetragen. Nur in geschützten, abgesenkten Partien an Verwerfungen blieben Reste erhalten (Beringer Randen, Bargemer Hoftal).

Während der vorletzten Vergletscherung (Riss-Eiszeit) wurde der Südranden vom Linthgletscher überfahren, wovon einige Findlinge und Moränenreste zeugen.

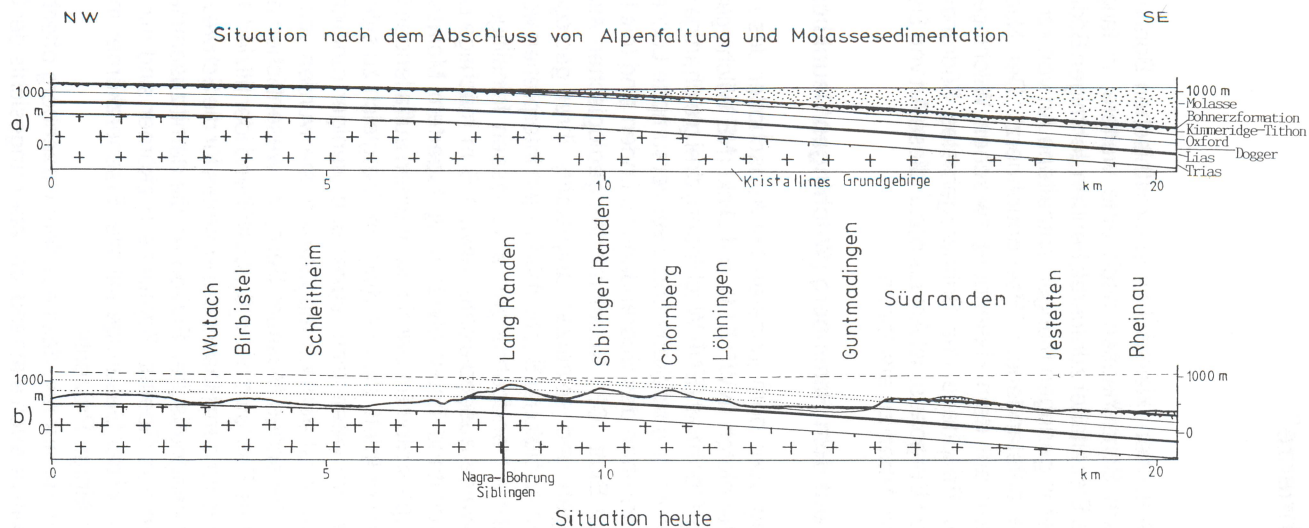


Abb. 6: Querprofile durch das Gebiet Wutach-Randen-Südlanden-Rhein a) vor und b) nach der postalpinen Erosion zeigen die Herausbildung der heutigen Landschaft.

5. "Pseudobohnerze"

5.1. Allgemeines

Neben dem eigentlichen, klassischen siderolithischen Bohnerz existiert in der Region Schaffhausen noch eine weitere, in langfristig exponierten, in das Eiszeitalter zurückreichenden, lehmigen Böden und Lehmdecken, meist in geringen Mengen enthaltene Art von körnigem, an Ort und Stelle entstandenem "Pseudobohnerz". Der Nachweis solcher Vorkommen auf dem Hasenberg zwischen Wilchingen und Neunkirch, an der Peripherie des Bohnerzgebietes Südranden mit Spuren historischen Bergbaus, ist Anlass dazu, diese Art von Eisenerz in der vorliegenden Arbeit zu erwähnen.

5.2. Vorkommen auf dem Hasenberg (Wilchingen/Neunkirch SH)

Auf der Verebnung über dem jüngeren Deckenschotter des Hasenbergs liegen SE Neunkirch (NWP.511), auf Dicki (NE Wilchingen) und im Gebiet Büelweg-Oberholz (ENE Wilchingen) drei gleichartige Lehm-vorkommen, in denen drei trockene und zwei versumpfte Löcher vom Typus der Bohnerzgruben des Südrandens zu finden sind (die trockenen Löcher sind auf Blatt 1031 Neunkirch des geologischen Atlas der Schweiz eingetragen und seinerzeit angesichts ihrer geologischen Position als Zeugen erfolgloser Suchschürfungen interpretiert worden).

1987 durchgeführte Handbohrungen erschlossen feinsiltige, völlig karbonatfreie, teilweise ausgebleichte, etwa 1,5 m mächtige Lehme, deren Schlämmrückstand nebst etwas umgelagertem Molassesand und stark ausgelaugten alpinen Geröllresten einen auffallenden Gehalt an Eisenerzkörnern enthielt, die allerdings im Vergleich zu siderolithischen Bohnerzkörnern wesentlich rauher und weniger rundlich sind. Ein Teil dieser Körner ist deutlich magnetisch: sie wurden von Dr. B. Hofmann (Naturhistorisches Museum Bern) im wesentlichen als aus *Maghemit* (kubisches Ferrioxid, $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) bestehend identifiziert. Dieses Mineral wurde damit auf dem Hasenberg erstmals für die Schweiz nachgewiesen. Die nichtmagnetischen Erzkörner, die damit zusammen vorkommen, bestehen aus Goethit. Sämtliche Erzkörner sind nur selten grösser als 5 mm, und der Gesamtgehalt aller Eisenerzkörner im Lehm beträgt bestenfalls einige Prozente.

Die Löcher deuten darauf hin, dass auf dem Hasenberg offenbar ein historischer Bergbauversuch stattfand, der aber angesichts der Gehal-

te nicht erfolgreich gewesen sein kann. Immerhin ergibt sich mit den Vorkommen auf dem Hasenberg für die Region Schaffhausen ein neuer lagerstättenkundlicher und bergbauhistorischer Aspekt für das Auftreten von Eisenerzen.

Die Abbauprobe auf dem Hasenberg könnten durch den Plateaucharakter dieser Gegend veranlasst worden sein, die gewisse morphologische Ähnlichkeit mit dem eigentlichen Südranden hat. Sie könnten aber auch durch einen Tagebau auf ähnliche "Pseudobohnerze" in Verwitterungslehmen auf den Muschelkalkhochflächen im Gebiet westlich des oberen Neckar (Fluorn) inspiriert worden sein, der bis ins 19. Jahrhundert stattfand (BRÄUHÄUSER, 1916).

Inzwischen konnten in der Region Schaffhausen und im benachbarten deutschen Wutachgebiet an zahlreichen Stellen gleichartige Vorkommen von "Pseudobohnerzen" mit Maghemit gefunden werden. Sie werden an anderer Stelle eingehender beschrieben.

6. Kartierung der Bohnerzgruben 1 : 5000

6.1. Allgemeines

Ältere, jedoch unvollständige Kartierungen der Bohnerzgebiete auf dem Südranden existieren von PEYER & IMTHURN (1806), BAUMBERGER (1923; 1: 50 000) und SCHALCH & GÖHRINGER (1921; 1 : 25 000). Auf Blatt 1031 Neunkirch des geologischen Atlas der Schweiz 1 : 25 000 (HOFMANN, 1981) wurden die Bohnerzgebiete so genau wie möglich, die Gruben selbst aber wegen des Massstabes 1:25 000 nur etwas zusammenfassend dargestellt. Allerdings erleichterte diese Vorarbeit die Kartierung 1: 5000 ganz entscheidend, weil die Lage der Grubenfelder bekannt war. Die Kartierung 1: 5000 wurde vom Verfasser in den Jahren 1987 bis 1990 durchgeführt. Veranlassung dazu war die im Gang befindliche Ortsplanung und die Inventarisierung erhaltenswerter Objekte. Die Grubenfelder sind in dieser Hinsicht sowohl geologisch-lagerstättenkundlich, wie auch bergbauhistorisch von Interesse. Das Tagebaugelände Südranden hat zweifellos nationale Bedeutung. Viele versumpfte Gruben wurden ausserdem sekundär zu biologisch wertvollen Nassstandorten und damit zu Naturobjekten, insbesondere als Amphibienreservate. Eine grössere Zahl solcher Erzlöcher wurden in den letzten Jahren durch die Initiative von Robert Steinemann, Berlingen, ausgebagert und als Tümpel und Teiche reaktiviert.

Die Kartierung, von den Gemeinden (inklusive Jestetten) bereitwillig unterstützt, ermöglichte eine Bestandesaufnahme der historischen Abbaustellen 140 Jahre nach Einstellung der Erzgewinnung. Sie dokumentiert die Bedeutung dieser Tagebaulandschaft, die fast völlig im Wald versteckt ist und dürfte das Bewusstsein für deren Bedeutung geweckt haben. Nicht alle Gruben können unter Schutz gestellt werden, aber einige markante Gebiete werden dazu ausgeschieden und es darf angenommen werden, dass auch mit dem Rest der Gruben respektvoll umgegangen wird.

Die Kartenpläne sind bei den jeweiligen Gemeinden, bei der Schweizerischen Geologischen Dokumentationsstelle, in der Eisenbibliothek Paradies-Langwiesen und bei der Schweizerischen Geotechnischen Kommission hinterlegt. Der Faltprospekt "Bergbauhistorische Lehrpfade Bohnerz auf dem Südranden" zeigt den grössten Teil der Grubenfelder.

6.2. Vorgehensweise bei der Kartierung

Bei der grossen Zahl der Grubenfelder und Einzelgruben und im Hinblick auf die Zielsetzung der Kartierung erwies sich eine Aufnahme im Massstab 1:5000 im Stile der üblichen geologischen Kartierweise als notwendig und hinreichend. Die Gruben wurden anhand des auf den Grundbuchkarten enthaltenen und noch verhältnismässig gut aufzufindenden alten Wegnetzes, das noch aus der Zeit der Erzgräberei stammen dürfte, und mit Hilfe der Bussole so genau wie möglich eingetragen. Dazu war es nötig, laufend ad-hoc-Fixpunkte festzulegen und Distanzmessungen durchzuführen. Einzelne, noch auf keinem Plan und keiner Landkarte eingetragene Waldstrassen mussten vom Verfasser anlässlich der Kartierung selbst so gut wie möglich aufgenommen werden.

In der Darstellung auf der Karte wurden die Gruben durch unterschiedliche Symbole gekennzeichnet: trockene Erzlöcher, verlandende und konstant wasserhaltende Gruben, Gruben von besonderer bergbauhistorischer Bedeutung (alte Schachtbauten), zugeschüttete Gruben etc., und ausserdem wurden die Aushubdeponiehügel eingetragen.

6.3. Bergbauhistorische und lagerstättenkundliche Ergebnisse der Kartierung

Beim Abbau der Bohnerze wurden die in der einstigen Karstoberfläche der Jurakalke auftretenden Erztaschen im Tagebau, stellenweise mit

Hilfe von Schächten von 10 bis 20 m und vereinzelt bis 30 m Tiefe ausgeräumt. Dies hinterliess meist rundliche Löcher von 5 bis 15 m Durchmesser, die an Bombentrichter erinnern. Ehemalige Schachtbauten können nur bedingt geortet werden, weil die alten Angaben (BAUMBERGER, 1923) meist nicht eindeutig sind. Grössere Abbaumulden mit 20, 30, 50 und vereinzelt gegen 100 m Ausdehnung deuten auf entsprechend grosse Erzanreicherungen.

Insgesamt wurden auf dem Südranden rund 3500 Erzgrubenlöcher gefunden. Sie treten meist in Grubenfeldern von teilweise beträchtlichem Ausmass auf, wovon Abb. 7 einen typischen Eindruck vermittelt. Einzelgruben sind seltener. Die Grubenfelder pausen gewissermassen die auf der Karstfläche des Südrandens vorhandenen Erztaschen an die Oberfläche durch. Die Gruben selbst scheinen sich seit Einstellung des Abbaus nicht wesentlich verändert zu haben. Es besteht auch der Eindruck, die Erzgräber hätten bis um die Mitte des 19. Jahrhunderts den Südranden sehr vollständig abgesucht und bearbeitet. Vorrats-schätzungen sind deshalb eher vorsichtig aufzunehmen.

Stollenbauten waren selten und dienten vor allem der Entwässerung (J.-C.-Fischer-Stollen im "Entenloch", Winterihau, Wannenberg, Koord. 681.600/280.900/630; Heusteig, 800 m WSW des Rossberghofes, Koord. 680.400/278.960/590; vgl. Faltprospekt und BIRCHMEIER, 1986).

An vielen Stellen kann man zwischen den Erzgruben Jurakalksteinrippen erkennen, die nicht selten ausgeräumte Taschen umgrenzen (Gebiete Häming, Winterihau, Chli Wisbuck, Radegg). Eine sehenswerte, einzelne, ausgeräumte Tasche im Jurakalk liegt auf dem Grat des Vorderen Häming bei Koord. 682.350/281.920 E P. 643.7.

Sonst bieten die zwar heute noch weitgehend intakten Grubenfelder nur wenig Einblick in die Bohnerzformation. Es ist nicht einmal so einfach, schöne Erzkörner zu finden. Am besten sucht man dazu die zahlreichen kleinen Aushubdeponiehügel ab. In den Gebieten Radegg und Spitzhau (bei Grenzstein 75) wurden auf solchen Deponien erstaunlich gut erhaltene Bolusstücke mit brekzienartiger Primärstruktur gefunden, was auf Umlagerung in situ deutet.



7. Ergänzungen zur Kenntnis der Bolus-Bohnerz-Formation durch direkte Einblicke in Ton- und Baugruben

Künstliche Aufschlüsse in der Region Schaffhausen in Form von z.T. noch in Betrieb stehenden Abbaustellen, vor allem aber diverse Baugruben und der Vortrieb des Tunnels für die Nationalstrasse N4 in Flurlingen 1989/90 ermöglichten Einblicke in die Bohnerzformation, die in den alten Grubenfeldern selbst und aus den darüber vorhandenen Aufzeichnungen nicht ausreichend ersichtlich sind.

Photographische Aufnahmen und Kurzbeschreibungen der temporären künstlichen Aufschlüsse wurden bei der Schweizerischen Geologischen Dokumentationsstelle registriert.

7.1. Auf dem Südranden

7.1.1. Rossberg

Klägrube 300 m SE des Rossberghofs, Koord. 681.100/279.510/609, Baugrube Oktober-November 1990. Grube in typischem, fettem, ockerfarbenem Boluston, ca. 6 m tief, mit Malmkalkrippe. Bohnerzkörner nur im unteren Teil und sehr spärlich. Der Boluston zeigte keinerlei Schichtung.

7.1.2. Zieglerhau S Guntmadingen

Schürfung nach Wasser, Koord. 683.790/280.800/565, August 1990. Baggerschlitz, ca. 7 m Sande der Unteren Süsswassermolasse auf Boluston, dieser meist plastisch, fett, ockerfarbig, unmittelbar unter der Molassegrenze z.T. grünlich, pyritartig. Bohnerzkörner fehlen fast völlig. Molassebasis: Aufarbeitungs-"Mergelbrekzie" mit einzelnen Malmkalkgeröllen lokaler Herkunft bis 10 cm Durchmesser.

◀ Abb. 7: Ausschnitt aus der Originalkartierung 1:5000 des Bohnerzgebietes im Bereich Häming-Agnesenhau, etwas verkleinert.

7.2. Ausserhalb des Südrandens

7.2.1. Färberwiesli, ENE Beringen

Tongrube bei Koord. 686.700/284.000/560. In der heute aufgelassenen und als Feuchtbiotop unter Schutz gestellten Grube wurde früher fetter, ockerfarbener Boluston als Steinzeugrohstoff abgebaut. Malmkalkrippen in der Grube lassen noch heute die Lagerungsverhältnisse gut erkennen: Bolustaschen in verkarstem Jurakalk. Der Ton enthält nur vereinzelt Bohnerzkörner und zeigt keinerlei Schichtung.

7.2.2. Neuhausen am Rheinfall

Baugrube Zollstrasse 26, Koord. 687.900/281.890/450 (April 1989): Massiger Malmkalk mit zahlreichen, mit völlig ungeschichtetem Boluston gefüllten, schmalen Karsttaschen ohne Bohnerz, in nicht deutlich geschichtetem Malmkalk.

Baugrube Rosenbergstrasse 15/17, Koord. 688.270/282.170/447 m (Juli 1986). Aufschlusshöhe bis 4 m. Zahlreiche, unregelmässige Taschen von ockerfarbenem Boluston in nicht deutlich geschichtetem, aber nicht typisch massigem Malmkalk. Kein Bohnerz.

Baugrube Internationale Verbandstoff-Fabrik (IVF), Koord. 688.870/281.410 (November-Dezember 1989). Kleinere und grössere, eher schmale, bis 8 m tief hinunterreichende, sehr unregelmässige Taschen von ockerfarbenem Boluston in $\pm$ bankigem Malmkalk. Eine eiförmige, etwa 50x80 cm grosse, scharf begrenzte Masse von kompaktem, reichhaltigem Bohnerz mit oberflächlich hämatitischen Erzbohnen trat in einer grösseren Bolustasche auf der Südseite der Baugrube auf, während sonst kaum Bohnerz beobachtet wurde. Ähnliche Erzeinlagerungen wurden beim Bau der Kläranlage Röti oberhalb des Rheinfalls 1967 beobachtet (mit z.T. stark hämatitischem Bohnerz, HOFMANN 1974). Die Taschenfüllungen zeigten keinerlei Anzeichen von Schichtung.

Rheinbett: Goldwaschversuche im Rheinbett (rechtsufrig, ca. 1 km oberhalb des Rheinfalls) fördern stets auch verschwemmte Bohnerze zutage. Sie deuten auf von BAUMBERGER (1923) erwähnte Vorkommen am Rhein bei Flurlingen.

7.2.3. Tunnel Flurlingen der Nationalstrasse N4

Bei der ersten Etappe des Vortriebs des Tunnels der Nationalstrasse N4 auf der Zürcher Seite des Rheins bei Flurlingen wurde zwischen Ende Oktober 1989 und Anfang Januar 1990 entsprechend der Prognose (FREIMOSER, 1989) von etwa 180 bis gegen 250 m ab Nordportal ein überdurchschnittlich grosses, kompaktes, bis zu 8 m mächtiges Bohnerzorkommen durchfahren, das einen hohen Gehalt an Erzbohnen aufwies. Stellenweise waren die Bohnen durch Eisenhydroxid verfestigt (Stockerz oder Stufferz, vgl. BAUMBERGER, 1923).

Der begleitende Boluston war rau, massig und kompakt gelagert und teilweise dunkel-grünbraun, teilweise dunkelbraun bis ockerfarben mit einzelnen weisslichen Partien, im Kontakt mit Malmkalk meist grün. Er zeigte keinerlei Feinschichtung. Nach Trocknung sprengt er sich in Wasser sehr grobdispers auf, wird aber nach Benzinsprengung sehr feindispers (Ofentrocknung, Tränken mit Leichtbenzin und sofortiges Überführen in Wasser). Nicht dispergierbare Partien bestanden aus Eisenhydroxid.

Während des Vortriebs wurden mindestens 5500 t Roherz gefördert, was bei einem vorsichtig angenommenen, durchschnittlichen Erzbohnengehalt von 20% etwa 450 t Eisen entspricht. Dies hätte annähernd einen Jahresbedarf der Neuhäuser Eisenwerke am Rheinfall (Periode 1810-1850) gedeckt (vgl. HOFMANN in KÜRSTEINER, HOFMANN & STALDER, 1990; BIRCHMEIER, 1986; STAHLSCMITT, 1990). Die Bohnerztasche lag bei Koord. 689.340/282.800 20 bis 30 m unter der Oberfläche. Sie war offenbar langgezogen und über Tage fehlten jegliche Anzeichen.

7.2.4. Schaffhausen

Im Juni 1991 kam in einem Leitungsgraben ca. 15 m E der mittleren Rosengasse in Schaffhausen bei Koord. 689.770/283.370 auf etwa 6 m Länge bis an die Oberfläche reichender, ockerfarbener, sehr dichter und harter, scherbildig brechender Boluston zum Vorschein. Er enthielt etwa 7% gleichmässig verteilte Bohnerzörner von meist max. 3 mm Durchmesser. Der Ton zerfiel (nach Trocknung) in Wasser nur in grobe, harte Partikel. Benzinsprengung dispergierte ihn jedoch äusserst rasch und sehr fein. Das Vorkommen war gegen N und SE durch vermutlich alten Abtrag und nachträgliche Schuttauuffüllung begrenzt, gegen SW durch graugelben, stark gequetschten Lehm mit Jurakalkbrocken. Liegender Malmkalk war nicht aufgeschlossen.

7.2.5. Stetten (Reiat)

Im Mai/Juni 1991 erschloss ein Graben der Reiatwasserversorgung unmittelbar E Stetten bei Koord. 691.880/288.620-288.720 ein Vorkommen von auffallend braunrotem Boluston (Flurbezeichnung Rotacker). Der Gehalt an Bohnerzkügelchen (vorwiegend kleiner als 5mm) wurde zu etwa 1% bestimmt, jener an mittel- bis feinkörnigem Quarzsand zu 0,4%.

Der Boluston ist stellenweise von pisolithischen Krustenkalken überlagert.

7.2.6. Lohn (Reiat)

Bolustongrube der Tonwerk Lohn AG, Lohn. Koord. 692.440/289.920/615. In Abbau befindliche Grube. Vereinzelt treten weisse bis blassviolette Varietäten auf, die den völlig massigen, ungeschichteten, ockerfarbenen Boluston durchadern. Bohnerz kommt gelegentlich angereichert in höchstens einige Dezimeter grossen Nestern vor. Grössere derartige Erznester wurden früher in einer längst aufgelassenen Bolustongrube an NW-Rand von Lohn beobachtet. Weitere zeitweilig noch genutzte Gruben liegen unmittelbar W und 400 m SW von Lohn. In einer Baugrube bei Koord. 692.180/290.130 im Westteil von Lohn (August 1989) wurde bis 4 m ockerfarbener, völlig massiger Boluston erschlossen. In der Grubensohle wurde eine Malmkalkrippe angefahren. Die Bolusvorkommen im Gebiet Stetten-Lohn deuten auf grössere Mulden im Malmkalk, in denen der Boluston abgelagert wurde.

In der Gegend von Lohn konnten im an sich erzarmen Boluston vereinzelt Erzknoten bis 250 g Gewicht gefunden werden (1991). Sie sind innen schwarz oder braun und mehr oder weniger strukturlos und zeigen keinerlei Anzeichen schaligen Wachstums. Sie tragen zum Teil eine 1 bis 2 mm dicke, beim Zerschlagen im Querschnitt blauschwarze, glänzende Schale und sind aussen sehr glatt und hell- bis dunkelbraun, wie die meisten Bohnerz Körner. Ähnliches Erz konnte in lagiger Form auch in der Bolustongrube E.P. 623.3 SSW Lohn gefunden werden. Auch kleinere, im Boluston auftretende Erzkörner zeigten bei verschiedenen Vorkommen meist keinen typisch schaligen Aufbau. Alle Typen bestehen aus Goethit und sind nicht magnetisch.

7.2.7. Steinbruch Wippel der Portland-Cementwerke Thayngen AG

In den Liegenden Bankkalken des Oberen Malms (Tithon, Tabelle II) des alten Steinbruchs Wippel (Koord. 693.800/289.300) traten regelmässig tief hinunterreichende Karsttaschen mit schönem Bohnerz auf, das als Besonderheit teilweise sideritisches Zwischenmittel enthielt (FeCO_3 , vgl. Abb. 3 und HOFMANN & HOFMANN, 1985). In anderen Karsttaschen fanden sich immer wieder Füllungen mit weisslichem bis rötlichem Boluston und gelegentlich kleinen Bohnerz Körnern und Knochenresten. Meist zeigten solche Füllungen eine ausgeprägte Feinschichtung und Gradierung und enthielten oft pelletisierten Boluston als deutliche Zeichen, dass das Material sich auf sekundärer Lagerstätte befand. Neben Bolus- und Bohnerzfüllungen fanden sich zeitweilig auch tiefreichende Taschen mit siderolithischem Quarzsand, der teilweise auch in Schichtfugen des Malmkalks eingelagert war. Häufig wurden beim Abbau aber auch Karsttaschen und -schlote angefahren, die mit Sanden der Brackwassermolasse gefüllt waren. Die verschiedenen Arten von Vorkommen zeigen deutlich, dass sehr verschiedenartige Generationen von Karstbildungen und darin auftretenden Füllungen existieren.

7.2.8. Mergelgrube Biberegg ("Almenbühl") der Portland- Cementwerke Thayngen AG

Im Ostteil der Grube Biberegg, in der Mergel der Unteren Süsswassermolasse der Serie der Älteren Juranagelfluh als Zementrohstoff abgebaut werden, kamen 1963 beim Bau der Aufbereitungsanlage in der Malmkalkunterlage bis zu 8 m tiefe Taschen von braunrotem Boluston mit etwas Bohnerz von ähnlichem Charakter wie Rotacker Stetten zum Vorschein.

Im Nordostteil der Grube stehen zur Zeit (1991) sehr schöne, teils mergelige Krustenkalke mit eingelagerten, dünnen Schichten von (umgelagertem) braunrotem Boluston an.

7.3. Lagerstättenkundliche und sedimentologische Folgerungen

Die vorstehend beschriebenen Vorkommen von Boluston ohne oder mit nur sehr wenig Bohnerz (auch auf dem Südranden) und andererseits die reiche, überdurchschnittlich mächtige Bohnerztasche im Flurlinger

Tunnel zeigen eine sehr unregelmässige Art des Auftretens des Erzes. Die stellenweise auf dem Südranden angetroffenen grossen Abbau- mulden (Winterihau, Radegg, Brügglhau, Häming) deuten auf Erzvor- kommen, die sich mit jenem von Flurlingen vergleichen lassen. Die sehr viel zahlreicheren, kleinen Erzlöcher weisen auf entsprechend kleinere Karsttaschen mit Erzanreicherungen hin.

Diese Feststellungen stimmen gut mit Angaben von SCHALCH (1916, 1921) über (allerdings eher spärliche) Berichte aus der Erzgräberzeit überein. Danach wären besonders im Gebiet des Wannenberges (Winterihau) Erzanreicherungen bis zu 6 m Mächtigkeit angetroffen worden (Entenloch, J.-C.-Fischer-Stollen). An anderen Stellen des Gebietes waren die Erzlager flözartig und 1,5 - 1,8 m mächtig. "Da die bauwürdigen Erze in der Regel erst in beträchtlicher Tiefe zu erreichen waren, erforderten sie zur Gewinnung die Anlage von oft mehr als 10 - 20 m tiefen Schächten" (SCHALCH, 1921). WÜRTEMBERGER (1870) be- richtet von einem 60 m tiefen Erzkessel von 18 m Durchmesser im Osten des Dorfes Küssnach auf der Höhe der rechten Talseite, "mit runden Erzkugeln von mindestens Faust- bis Kopfgrösse". Die Stelle liegt SE der Küssaburg und konnte von GRAF (1988) wieder aufgefunden werden. Das Erz wurde teilweise von der Hangseite her mit Stollen angefahren.

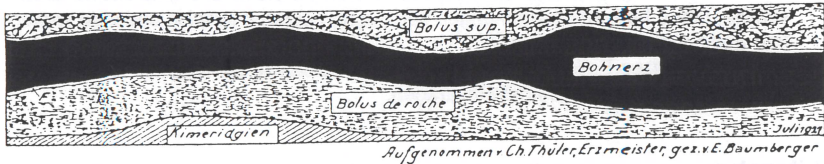
Die beschriebenen neuen Befunde ergeben zusammen mit den alten Berichten ein Bild, das sich sehr gut und zwangslos in die Beschreibung von BAUMBERGER (1923) aus dem Delsbergerbecken einfügt, die nach- stehend zitiert sei:

"Das Auftreten der Bohnerze ist stets auf die tiefsten Partien der Bohnerztone über der Kalkunterlage beschränkt; in den höher im Profil liegenden Tonmassen treten die Erzbohnen nur sparsam auf. Vielfach ist auf grosse Strecken der gesamte Bohnerzton steril; die Grubenpläne des Delsbergerbeckens zeigen, dass viele Schächte, welche die Bohn- erztone in ihrer ganzen Mächtigkeit durchfuhren, keine abbauwürdigen Erzlager aufgeschlossen haben. Das abbauwürdige Erz findet sich in Erzkesseln, in Nestern und Linsen oder lagerhaft in ansehnlicher Flächenausdehnung bis zu ausnahmsweise 2-2,5 m maximaler Mäch- tigkeit, in der Regel aber nicht über 1 m. Sowohl bei stockartigem als linsenförmigem Auftreten ruht das Erz entweder direkt auf der Kalkun- terlage oder ist von dieser durch eine wenig mächtige Bolusschicht getrennt." (Siehe dazu Abb. 8.)

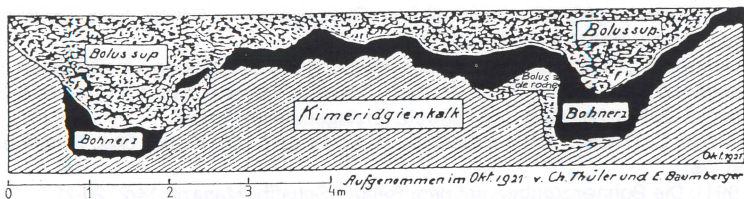
Eine hochgradige Analogie zwischen den Vorkommen von Delsberg, wo der Stollenbau weiträumige Einblicke in die Lagerungsverhältnisse

vermittelte, und jenen auf dem Südranden und seiner Nachbargebiete ist wahrscheinlich und aus geologischen Gründen auch zu erwarten.

Es ist bemerkenswert, dass Bohnerz nur sehr spärlich in Form zerstreuter Einzelkörner im Boluston auftritt, zur Hauptsache aber in scharf davon abgegrenzten Anreicherungen, und dass Boluston und Bohnerz nur bei offensichtlicher Verschwemmung in tiefreichende Spalten geschichtet sind, in grösseren Lagern und Taschen aber völlig massig erscheinen, was auf Vorkommen auf primärer Lagerstätte deutet. Lokale Umlagerung ist dabei nicht ausgeschlossen, aber es kann sich beim Bohnerz wohl nicht um Seifenlagerstätten handeln. Es besteht auch der Eindruck, dass Bohnerz nicht dauernd zusammen mit Boluston entstand, sondern unter ganz bestimmten Bedingungen, deren Art und Zeitraum nicht bekannt sind. Auffallend ist auch, dass die Körner kompakter Bohnerzlager in der Regel konzentrische Schalenstruktur zeigen, während vereinzelt im Bolus auftretende Erzkörner (vor allem im Gebiet von Lohn) oft nicht schalig aufgebaut sind. Viele Fragen bleiben jedenfalls offen.



Stollenprofil von 10 m Länge aus dem Grubenfeld Blancherie bei Delsberg.



Aus dem westlichen Förderstollen des Grubenfeldes Puits Rondez bei Delsberg.

Abb. 8: Stollenprofile aus dem Bohnerzgebiet von Delsberg, 1921. Originalfiguren 3 und 4 aus BAUMBERGER, 1923. "Fleur de mine" ist ein Bergmannsausdruck für eine fleckig-streifig ausgebildete, kaolinitische Grenzzone zwischen Erzlager und Boluston.

Verdankungen

Nachfolgend genannte Personen und Institutionen haben den Verfasser mit finanzieller Hilfe, Informationen, Bewilligungen oder sonstigen Leistungen unterstützt und verdienen grossen Dank:

- Die Gemeinden rund um den Südranden (Osterfingen, Wilchingen, Neunkirch, Jetetten, Guntmadingen, Beringen und Neuhausen am Rheinfall) ermöglichten die Kartierung der Bohnerzgruben.
- Die Trägerschaft des Projektes "Bergbauhistorische Lehrpfade Bohnerz auf dem Südranden" (Museumsverein, Naturforschende Gesellschaft und Historischer Verein, alle in Schaffhausen) übernahm die Kosten für den Druck des Faltprospektes und für die Herstellung von Orientierungstafeln im Gelände, die von der Arbeitsgemeinschaft für Wanderwege montiert wurden.
- Die Forstämter von Stadt und Kanton Schaffhausen leisteten mannigfache Unterstützung.
- Das Geotechnische Büro von Moos AG, Zürich und die Bauleitung der Nationalstrasse N4 ermöglichten den Zutritt zum im Ausbruch befindlichen Strassentunnel Flurlingen und dem dabei angefahrenen Bohnerzvorkommen.
- Die Herren K. Bälteli (Amt für Vorgeschichte des Kantons Schaffhausen), A. Roth (Verwaltungsratspräsident Reiatwasserversorgung) und Dr. W. Vogelsanger (Adjunkt Forstamt der Stadt Schaffhausen) meldeten dem Verfasser wichtige temporäre Aufschlüsse in der Siderolithformation.
- Die Nagra (Nationale Genossenschaft zur Lagerung radioaktiver Abfälle) stellte die Unterlage zu Abb. 4 zur Verfügung und erteilte die Erlaubnis zur Reproduktion.
- Dr. B. Hofmann (Naturhistorisches Museum Bern) erstellte und untersuchte Erzanschliffe, führte Mineralbestimmungen durch, gab Literaturhinweise und viele weitere Informationen und Anregungen.
- Die Georg-Sulzer-Forrer-Stiftung Winterthur unterstützte die Arbeiten für die vorliegende Publikation mit Unkostenbeiträgen.

Literatur

- BARTZ, J. (1940): Die Bohnerzablagerungen in Rheinhessen und ihre Entstehung. - Arch. Lagerstforsch. 72, 1-57
- (1950): Das Jungpliozän im nördlichen Rheinhessen. - Notizbl. hess. Landesamt Bodenforsch. Wiesbaden 6/1, 201-243.
- BAUMBERGER, E. (1923): Bohnerz. I. Die Vorkommen im Jura-gebirge. - In: Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. - Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser. 13/1, 4-125; & Studienges. z. Nutzbarmachung schweiz. Erzlag.stätten, 1. Lief.
- BIRCHMEIER, C. (1986): Bohnerzbergbau im Südranden. - Njbl. natf. Ges. Schaffhausen, 38.
- (1991): Die Bohnerzgruben auf dem Reiat. - Schaffh. Magazin 14/2, 20-21.
- BRÄUHÄUSER, M. (1916): Die Bohnerzbildung im Muschelkalkgebiet am Oberen Neckar. - Jh. Ver. vaterl. Natkd. Württemb. 72, 210-271.
- BROECK, E. VAN DEN (1878): Du rôle de l'infiltration des eaux météoriques dans l'altération de dépôts superficiels. - C.R. Congr. géol. Paris.
- 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.

- DIEULAFAIT, M. (1885): Origine et mode de formation des phosphates de chaux en amas dans les terrains sédimentaires. Leur liaison avec les minerais de fer et les argiles des terrains sidérolithiques. - Ann. Chim. Phys. 6/V, 204.
- EICHLER, J. (1961): Mineralogische und geologische Untersuchungen von Bohnerzen, besonders der Vorkommen bei Liptingen, Kreis Stockach. - N. Jb. Mineral., Abh. 97, 51-111.
- EPPRECHT, W. (1963): Die Bohnerzorkommen in den Tiefbohrungen von Limberg (Küsnacht, Kt. Zürich) und Eglisau II. Mit Beiträgen von U. BÜCHI, F. HOFMANN und T. HÜGI - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 43, 313-338, und Beitr. Geol. Schweiz, klein. Mitt. 31.
- FISCHER, H. (1969): Geologischer Überblick über den südlichen Oberrheingraben und seine weitere Umgebung. - Regio basil. X/1, 57-84.
- FLEURY, E. (1909): Le sidérolithique suisse. - Diss. Univ. Fribourg.
- FREIMOSER, M. (1989): Die geologischen Verhältnisse entlang der N4-Trasse im Gebiet Schaffhausen-Flurlingen. - Mitt. Schweiz. Ges. Boden- u. Felsmech. 120.
- GEYER, O.F., & GWINNER, M. P. (1986): Einführung in die Geologie von Baden-Württemberg. (3. Aufl.). - Schweizerbart, Stuttgart.
- GRAF, H.R. (1988): Die Juranagelfluh-Formation und ihre Unterlage zwischen Zurzach AG und Randen SH. - Diplomarb. Univ. Zürich.
- GUILBERT, J.M., & PARK, C.F. (1986): The Geology of Ore Deposits. - W.M. Freeman & Co., New York.
- GYGI, R.A. (1969): Zur Stratigraphie der Oxford-Stufe (oberes Jurasystem) der Nordschweiz und des süddeutschen Grenzgebietes. - Beitr. geol. Karte Schweiz (N.F.) 136.
- HEIM, ALB. (1919): Geologie der Schweiz, I. - Chr. Herm. Tauchnitz, Leipzig.
- HOFMANN, B., & HOFMANN, F. (1989): Die Mineralien des Steinbruchs Wippel bei Thayngen SH. - Schweizer Strahler 7/2, 53-65.
- HOFMANN, F. (1967): Über die Tertiärbildungen im Kanton Schaffhausen. - Mitt. natf. Ges. Schaffhausen, 28, 171-210.
- (1974): Mineralien des Kantons Schaffhausen. - Njbl. natf. Ges. Schaffhausen, 26..
- (1981): Erläuterungen zu Blatt 1031 Neunkirch des Geologischen Atlas der Schweiz 1: 25 000. - Schweiz. geol. Komm.
- HOFMANN, F., & PETERS, T. (1969): Untersuchungen über die Verwendbarkeit schweizerischer Rohstoffe als Bindetone für Giessereiformsande. - Beitr. Geol. Schweiz., Geotech. Ser. 47.
- ILLIES, H. (1965): Bauplan und Baugeschichte des Oberrheingrabens - Oberrhein. geol. Abh. 14, 1-54.
- KUHN, W., & MEIGEN, W. (1924): Bohnerz und Bohnerzton aus dem Klettgau (Baden). - Jber. u. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N.F. 8, 48-55.
- KÜNDIG, E., & DE QUERVAIN, F. (1953): Fundstellen mineralischer Rohstoffe in der Schweiz. - Schweiz. geotech. Komm. / Kümmerly & Frey, Bern.
- KÜRSTEINER, M., HOFMANN, F., & STALDER, H.A. (1990): Eisenerz und Eisenindustrie im Jura. - Teil I: Belege und Dokumente zum jurassischen Eisenerzbergbau (H.A. STALDER); Teil II: Kurzgeschichte der jurassischen Eisenindustrie (M. KÜRSTEINER); Teil III: Bohnerz im Tunnel der Nationalstrasse N4 bei Flurlingen ZH (F. HOFMANN); - Jb. nat-hist. Mus. Bern 70, 171-196, u. Beitr. Geol. Schweiz, klein. Mitt. 84.
- LEMCKE, K. (1988): Geologie von Bayern, I. Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. Erdgeschichte, Bau, Bodenschätze. - Schweizerbart, Stuttgart.
- MATTER, A., PETERS, T.J., BLÄSI, H.-R., MEYER, J., ISCHI, H., & MEYER, CH. (1988): Sondierbohrung Weiach, Geologie, Textband u. Beilagen. - Nagra Tech. Ber. 86-01. - Nationale Gesellschaft zur Lagerung radioaktiver Abfälle, Baden.

- MÜLLER, H.W., HUBER, M., ISLER, A., & KLEBOTH, P. (1984): Erläuterungen zur geologischen Karte der zentralen Nordschweiz 1:100 000 mit angrenzenden Gebieten von Baden-Württemberg. - Nagra u. Schweiz. geol. Komm.
- ROLLIER, L. (1905): Die Bohnerzformation oder das Bohnerz und seine Entstehung. - Vjschr. natf. Ges. Zürich 50, 150-162.
- ROSSELET, C. (1990): Die Fauna der Spaltenfüllungen von Dielsdorf (Kanton Zürich). - Diplomarb. Univ. Zürich.
- SCHALCH, F. (1912): Erläuterungen zu Blatt 114 Stühlingen der Geologischen Karte des Grossherzogtums Baden. - Bad. geol. Landesanst. u. Schweiz. geol. Komm.
- (1916): Erläuterungen zu Blatt 145 Wiechs-Schaffhausen der Geologischen Karte des Grossherzogtums Baden 1:25 000. - Bad. geol. Landesanst. u. Schweiz. geol. Komm.
- (1921): Erläuterungen zu Blatt 158 Jestetten-Schaffhausen der Geol. Spezialkarte von Baden. - Bad. geol. Landesanst. u. Schweiz. geol. Komm.
- SEEGER, M. (1963): Fossile Verwitterungsbildungen auf der Schwäbischen Alb. - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 6, 421-459.
- SCHREINER, A. (1965): Die Juranagelfluh im Hegau. - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 7, 303-354.
- (1970): Erläuterungen zur geologischen Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1:50 000. - Geol. Landesamt Bad.-Württemb.
- (1983): Erläuterungen zu Blatt 8218 Gottmadingen der geologischen Karte von Baden-Württemberg 1:25 000. - Geol. Landesamt Bad.-Württemb.
- STAHLSCHMIDT G. R. (1990): Die Nehersche Eisenhütte bei Schaffhausen 1824. - Schaffh. Beitr. Gesch. 67, 333-349.
- STEHLIN, H.G. (1903-1916): Die Säugetiere des schweizerischen Eocäns. - Abh. schweiz. paläont. Ges. 30-33, 35, 36, 38, 41.
- TRÜMPY, R. (1980): Geology of Switzerland. - Wepf, Basel/New York.
- VALETON, I. (1953): Petrographie des süddeutschen Hauptbuntsandsteins. - Heidelb. Beitr. Mineral. Petrogr. 3, 335-379.
- VON MOOS, A. (1936): Zur Petrographie der Quarzsande und mageren Huppererden der Bohnerzformation im schweizerischen Juragebirge. - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 16/2, 318-317.
- WEIDMANN, M. (1984): Le Sidérolithique et la Molasse basale d'Orbe (VD). - Bull. Lab. géol. etc. Univ. Lausanne 77/366, 135-141.
- WITTMANN, O. (1955): Bohnerz und präeozäne Landoberfläche im Markgräflerland. - Jh. geol. Landesamt Bad.-Württemb. 1, 267-299.
- WUNDERLICH, H.G. (1957): Liefergebiete und Schüttungsrichtungen des mitteldeutschen Buntsandsteins nach Massgabe der Schwermineralführung. - N.Jb. Geol. u. Paläont., Mh. 1957, 123-143.
- WÜRTEMBERGER, F.J. (1870): Die Tertiärformation im Klettgau. - Z. dtsh. geol. Ges. 22, 471-581.

Geologische Karten

Geologischer Atlas der Schweiz 1 : 25 000:

(Schweizerische geologische Kommission/Landeshydrologie und -geologie)

Blatt 1031 Neunkirch (Nr. 74), 1981 (von F. HOFMANN).

Blatt 1032 Diessenhofen (Nr. 38), 1961 (von J. HÜBSCHER)

Blatt 1011 Beggingen (Südhälfte) mit SW-Anteil von Blatt 1012 Singen.

In Druckvorbereitung (von F. HOFMANN).

Geologische Spezialkarten von Baden/Baden-Württemberg 1: 25 000: (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg).

Blatt 145 Wiechs-Schaffhausen, 1914 (von F. SCHALCH)

Blatt 158 Jestetten-Schaffhausen, 1921 (von F. SCHALCH & K. GÖHRINGER).

Blatt 8218 Gottmadingen, 1983 (von A. SCHREINER).

Sonstige geologische und bergbauhistorische Karten

Situationsplan der Eisenerzgruben zwischen Osterfingen und Guntmadingen, 1806 (von L. PEYER und J.J. IMTHURN). - Staatsarchiv Schaffhausen.

Bohnerzgebiete im Klettgau, Schaffhausen 1:50 000, 1923 (von E. BAUMBERGER). In: Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. - Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser. 13/1, Tafel I, Fig. 1

Karte der Erzgebiete von Lohn, Stetten und Büttenhardt 1: 50 000, 1923 (von E. Baumberger). In: Die Eisen- und Manganerze der Schweiz. - Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser. 13/1, Tafel I, Fig. 2.

Geologische Karte des Landkreises Konstanz mit Umgebung 1: 50 000, 1967 (von L. ERB). - Geol. Landesamt Bad.-Württemb.

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

Geologische Karte der zentralen Nordschweiz 1: 100 000, 1984 (von A. ISLER, F. PASQUIER & M. HUBER). - Nationale Genossenschaft zur Lagerung aktiver Abfälle (Nagra) u. Schweiz. geol. Kommission.

Carte métallogénique des massifs des Vosges et de la Forêt-Noire / Metallogenetische Karte der Vogesen und des Schwarzwaldes 1: 400 000, 1975 (von J. AGARD, P. FLUCK R. WEIL & W. WIMMENAUER). - In: Gîtes minéraux de la France II, Géologie des gîtes minéraux des Vosges et des régions limitrophes. Mémoires du B.R.G.M. 87.

Beiträge zur Geologie der Schweiz Matériaux pour la Géologie de la Suisse

Geotechnische Serie - Série géotechnique

- Nr. 77: F. Gilliéron: Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen. Mit Karte 1:500'000 der Radioaktivitätsmessungen, radiometrischen Anomalien und Uranvorkommen der Schweizer Alpen. (F. Gilliéron, T.P.Labhart), 1988.Fr. 25.-
- Nr. 78: M. Ammann: Herkunft und Zusammensetzung von Silt in fliessenden Gewässern und Stauseen. - Geotechnische Abtragsanalysen im Alpenraum. Mit Karte, 118 S., 58 Textfig., 1988.Fr. 25.-
- Nr. 79: Th. Widmer: Zur Stratigraphie und Sedimentologie der Anhydritgruppe (Mittlere Trias) in der Region Licetal-Arisdorf (Baselland, Nordwestschweiz). 108 S., 70 Fig., 1991.Fr. 35.-
- Nr. 80: B. Rick: Geotechnische und hydrochemische Folgen der Verwitterung sulfathaltiger Gesteine (Gipskeuper des Schweizer Jura). 120 S., 56 Textfig., 15 Tab., 1991.Fr. 35.-
- Nr. 81: G. Della Valle: Les Fahlbänder et les veines polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne (Zone pennique, Valais). 60 p., 24 fig., 8 pl., 1991.Fr. 25.-

Kleinere Mitteilungen - Bulletin

- Nr. 86: B. Hofmann: Erzminerale in paläozoischen, mesozoischen und tertiären Sedimenten der Nordschweiz und Südwestdeutschlands. 14 S., 5 Abb., 3 Tab., 1990.Fr. 4.-
- Nr. 88: H. Badoux: Géologie des Mines de Bex.-Données 1981-1990. 14p., 4 figs., 1 pl., 1991.Fr. 4.-
- Nr. 89: F. C. Jaffé: Gold in Switzerland. 8 p., 9 figs., 1991.Fr. 4.-
- Nr. 91: E. Wenk: Chemismus von Gesteinen und Mineralien der Val Verzasca. 10 S., 5 Fig., 1 Tab., 1992.Fr. 4.-
- Nr. 92: M. Mazurek und Tj. Peters: Petrographie des kristallinen Grundgebirges der Nordschweiz und Systematik der herzynischen Granite. 24 S., 6 Abb., 5 Tab., 1992.Fr. 5.-

Karte der mineralischen Rohstoffe der Schweiz 1:200'000

1. Blatt: Tessin-Uri/Ticino-Uri mit Erläuterungen, 1990.Fr. 35.-

Hydrogeologische Karte der Schweiz - Carte hydrogéologique de la Suisse 1:100'000

- Nr. 3, Blatt 38 Panixerpass. Von H. Jäckli, A. Bögli, Th. Locher, W. Nabholz, C. Schindler, E. Weber und L. Wyssling, mit Erläuterungen, 1985.Fr. 40.-
- Nr. 4, Blatt 31 Biel/Bienne. Von L. Hauber und U. Pfirter, 1991.Fr. 40.-