

Weltenburger Akademie	Gruppe Geschichte	S. 1-14	Geologische Karte 9 Abb.	Kelheim/Weltenburg 1985
-----------------------	-------------------	---------	-----------------------------	-------------------------



# GEOLOGIE DES GEBIETES HEXENAGGER - TETTENWANG SÜDLICH RIEDENBURG (ALTMÜHLALB) \*

von  
**M i c h a e l A p p e l**  
Würzburg

## Z u s a m m e n f a s s u n g :

Mittlerer bis Oberer Malm (riffbetonte Fazies - schüsselbetonte Fazies) - Kreide - Tertiär (Süßwasserkalke - Zeugnisse des Riesereignisses - Braunkohlentertiär - Flinzsedimente der Oberen Süßwassermolasse) - Quartär - Tektonik - Historisches zum Tettenwanger Eisen.

## 1. EINFÜHRUNG

Kartiert wurde das Gebiet w. und e. des Mittellaufes der Schambach, s. von Riedenburg (TK 25, Blatt 7036 Riedenburg).

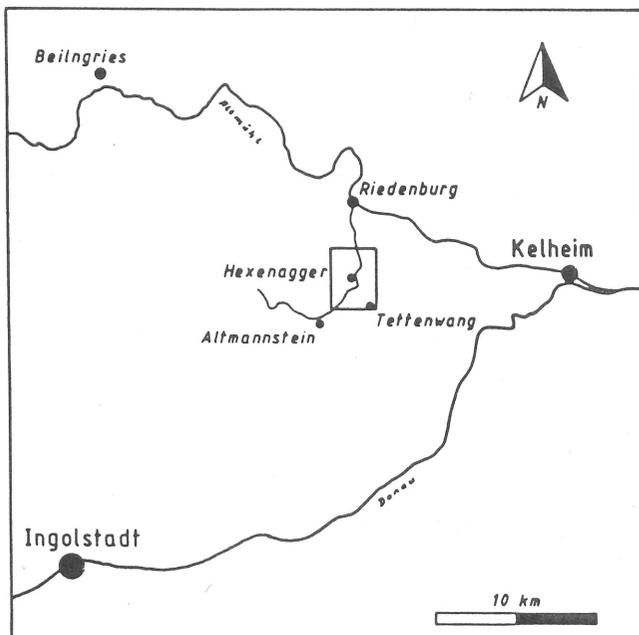


Abb. 1  
Geographische Lage des bearbeiteten Gebietes.

Typisch sind massige, grobgebankte Kalkgesteine und dolomitisierte Riffkuppeln. Diese Gesteine stellen mit ihren tiefgelegenen Partien die ältesten geologischen Baueinheiten des Kartiergebietes (Malm Delta) dar.

Die rundlich kuppigen Formen der Riffdolomite geben der Landschaft ein eigenes Gepräge. Auch schichtige Malmgesteine sind vertreten. Grundsätzlich wird im Malm eine riffbetonte und eine schüsselbetonte Fazies unterschieden.

Gesteine der Kreide sind nur reliktsch als Alemonite vertreten und finden sich verstreut auf den Hochflächen.

Das Tertiär umfaßt präriesische obermiozäne Süßwasserkalke, die Lehmgige Albüberdeckung, das Eisenerz von Tettenwang - als besonderes Zeugnis des Riesereignisses - sowie Sande und Kleinkiese der Oberen Süßwassermolasse. Die erdgeschichtlich jüngste, verbreitete Ablagerung im Arbeitsgebiet ist der Lößlehm (Quartär).

\* Unter Verwendung von Auszügen einer am Institut für Geologie der Univ. Würzburg unter Betreuung von Prof. Dr. E. Rutte erstellten Diplomarbeit "Geologische Kartierung der Umgebung von Hexenagger und Tettenwang 1 : 10 000 (1984)".



7384

## 2. GESTEINSBESCHREIBUNG

### 2.1 MALM: RIFFBETONTE FAZIES

Die Massenkalke des Kartiergebietes entsprechen nicht der von BAUSCH (1963) aufgestellten Definition, Massenkalken seien das gewachsene Riff. Der Begriff wird erweitert und es werden auch Gesteine als Massenkalk bezeichnet, die sich zwischen den eigentlichen Riffen ablagerten. RUTTE (1962) bezeichnet derartige Sedimente als chemisch-anorganisch gebildete Absatzkalken.

Gute Aufschlüsse befinden sich sowohl nw. als auch se. der Leistmühle.

In den Aufschlüssen weist der Massenkalk eine grob bankige, regellose Absonderung auf (Bankmächtigkeiten 1 - 2 m), wobei die Schichtfugen nicht immer gut verfolgbar sind und auch zahlreiche untergeordnete Schichtfugen auftreten. Das relativ fossilarme Gestein ist im Regelfall dicht und kompakt, enthält jedoch mehr oder weniger große Hohlräume, die mit Kalzitkristallen ausgefüllt sein können. Neben der mikritischen Matrix können auf engstem Raum unvermittelt Stellen mit größerem Korn auftreten.

Charakteristisch sind Einschlüsse von fladigen bis knolligen Kieselbildungen mit kreidig weißen Rinden. Diese Rinden entstehen nach BEURER (1971) durch das Herauslösen von Karbonatanteilen aus den Kieselbildungen. Die Genese der Kieselknollen selbst wird von ROLL (1931) und BEURER (1971) durch die Zufuhr von Kieselsäure, entstanden durch die Lösung der Spongienskelette der Schwämme, aus den Riffen erklärt.

An Makrofossilien findet man am häufigsten Crinoidenstielglieder, dann Reste von Zweischalern, darunter *Terebratula insignis*. Ein seltener Fund ist die kleinwüchsige Muschel *Leckhamptonia*. In einer Baugrube am s. Ortsrand von Tettenwang konnten Hydrozoenstockstrukturen im Massenkalk festgestellt werden. Eine Besonderheit stellt der Fund einer zu den Corallinaceen gehörenden Kalkalge dar (Abb. 2).

Schwammreste wurden nicht gefunden. In Dünnschliffen wurden Algenmatten, Dasycladaceen (Grünalgen) und Korallenbruchstücke registriert.

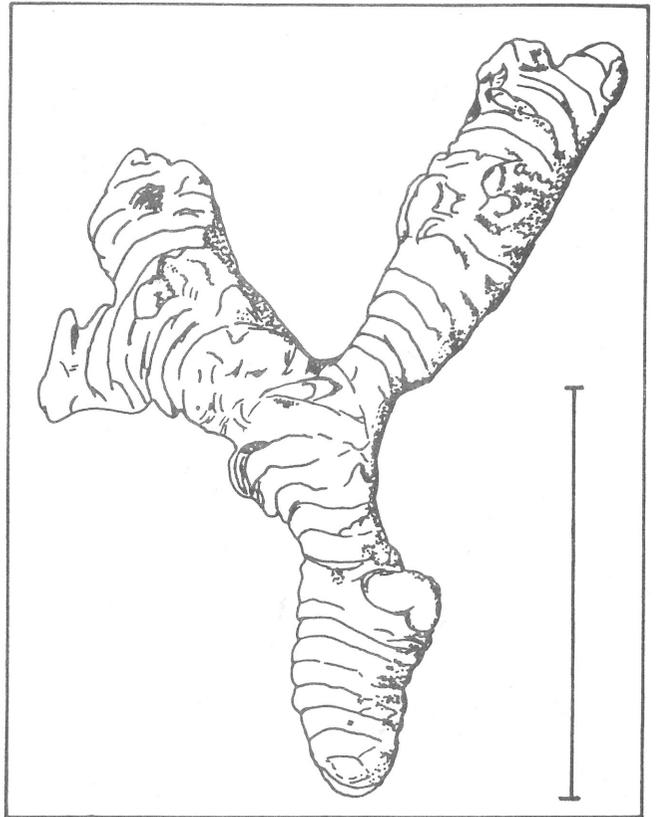


Abb. 2

Zu den Corallinaceen gehörende Kalkalge. Es sind aufrecht wachsende, gegliederte marine benthonische Algen. Durch die Verwitterung wurde die Außenwand des Kalkskeletts zerstört, man erkennt so den laminaren Aufbau. Diese Form könnte zu den Corallinoideen gehören. Maßstab 1 cm.

Aufgrund des Fehlens von Leitfossilien können die Massenkalken biostratigraphisch nicht datiert werden. Eine lithologische Unterscheidung von stratigraphischen Einheiten ist ebenfalls nur in beschränktem Umfang möglich. Deshalb muß auf eine Grenzziehung zwischen Malm Delta und Malm Epsilon innerhalb der Massenkalken verzichtet werden.

Unter dem Begriff **Massiger Dolomit** werden dolomitisierte Äquivalente der Massenkalken und die Riffdolomite zusammengefaßt. An den Talflanken des Schambachtales und auch der meisten Nebentäler dominiert der massige Dolomit.

In einigen Aufschlüssen sind Schichtfugen im Abstand von 2 - 3 m zu beobachten; damit ist das Gestein als dolomitisiertes massiger Absatzkalk zu erkennen.

Den weitaus größten Anteil haben jedoch dolomitisierte Riffkuppeln; sie sind häufig gut aufgeschlossen. So schneidet die Straße von Hexenagger nach Riedenburg bis zur Neumühle 10 Riffbauten an. Solche Riffdolomite sind gut an ihrem zwiebelschalenartigen Aufbau zu erkennen.

Die frische Bruchfläche des Dolomits ist stets rau und in der Regel mittel- bis grobkörnig ausgebildet ("Zuckerkörnigkeit"). Das Handstück enthält immer mehr oder weniger große Hohlräume.

Farblich ist er nicht einheitlich: Grautöne herrschen vor, daneben gibt es von rein Weiß über Gelbbraun bis zu Schwarzgrau alle Übergänge. Im verwitterten Zustand ist der Dolomit sandig ("Dolomitasche") bis mehlig; die Farben sind dann gelblich, wie ausgebleicht. Die Abgrenzung des massigen Dolomits zum Massenkalk ist nicht berechenbar (Abb. 3). Klar verfolgbare Grenzen sind selten; der Dolomit kann mit Massenkalk innigst verwoben sein. Inmitten von großen Dolomitvorkommen können unvermittelt winzige Reste von Massenkalk auftreten. Übergangsbereiche zwischen Dolomit- und Kalkgestein führen oftmals von annähernd reinem Dolomit über kalzitischen Dolomit zu dolomitischem Kalk bis zu reinem Kalkstein. Hier gibt es den Zuckerkornkalk. Das Phänomen konnte BAUSCH (1965) als Dedolomitierung mit anschließender Rekalzitierung erklären. Nach BLATT et al. (1972) und FÜCHTBAUER & MÜLLER (1977) kann Dedolomitierung auf den Einfluß von Oberflächenwässern zurückgeführt werden.

Der Dolomit zeigt häufig Fels- wie auch Pilzbildung. Paradebeispiel ist das "Naturdenkmal Steinpilz" ne. der Leistmühle. Die Ursache ist eine ungleichmäßige, von der Verteilung der Mg- und Ca-Gehalte abhängige Verwitterungsresistenz.

Fossilreste sind sehr selten; die Fossilien wurden bei der Dolomitierung weitestgehend zerstört. Immerhin wurden Hydrozoenstockstrukturen nw. von Tettenwang gefunden, außerdem der Rest eines nicht bestimmbarer Ammoniten.

Der massige Dolomit des Untersuchungsgebietes wird den Malmstufen Delta und Epsilon zugeordnet. Eine Trennung zwischen den beiden Einheiten ist im Arbeitsgebiet nicht möglich. Zurückgehend auf MEYER (1977), nach dem Hydrozoenstöcke bevorzugt ab Malm Epsilon auftreten, sind die bei Tettenwang gefundenen Belege Hinweise auf Malm Epsilon.

Bei der Frage nach dem relativen Zeitpunkt der Dolomitierung, also der Umwandlung von vormals Kalkstein in Dolomit, kann davon ausgegangen werden, daß die Dolomite des Untersuchungsgebietes spätdiagenetisch entstanden sind.

Aufgrund seiner biogenen Entstehung zählt der **tafelbankige Schwammkalk** ebenfalls zur riffbetonten Fazies. Diese dickbankige Biostromfazies ist typisch für den oberen Malm Delta der Altmühlalb. Das verstärkte Auftreten in diesem Zeitabschnitt ist auf eine Meeresverflachung mit gleichzeitigem Rückgang der Riffe zurückzuführen (MEYER & SCHMIDT-KALER 1983).

Im Aufschluß - der einzig gute befindet sich im Vorkommen in der ne. Ecke des Arbeitsgebietes - weist das Gestein eine Bankung mit Schichtstärken zwischen 20 und 70 cm auf. Der frisch angeschlagene tafelförmige Schwammkalk zeigt meist helle ockerbraune Farben und stets Porenräume. Charakteristisch sind ebenfalls luckig poröse bis mehr als faustgroße Kieselknollen und -fladen, die ein helles Kieselmehl enthalten.

Zwei typische Kennzeichen sind nur an angewitterten Lesesteinen zu erkennen: der hohe Gehalt an Fossilschill und die sandig-körnige Oberfläche, hervorgerufen durch Ooide.

Die angewitterten Stücke bieten zahlreiche Fossilien: verschiedene Formen von Schwämmen, darunter die typischen Teller-schwämme, Muscheln und Brachiopoden, Korallenbruchstücke, Belemnitenrostren, Operculum von Sedentaria, Crinoidenstielglieder, sowie Schalenquerschnitte und Stacheln von Seeigeln.

Daß der tafelbankige Schwammkalk nicht nur eine reine Schwammrasenfazies ist, sondern daß auch Algen am Aufbau beteiligt sind, zeigt auch der Fund einer mehr als faustgroßen Algenknolle. Sie weist einen typischen feinporigen Aufbau auf, und deutlich sind lamelläre Strukturen zu erkennen.

Aufgrund der lithologischen und mikro-faziellen Ausbildung (MEYER 1975) wird diese Biostromfazies in den obersten Malm Delta gestellt (Abb. 3).

Der **tafelbankige Dolomit** ist das dolomitierte Äquivalent des tafelbankigen Schwammkalkes. Außer durch seine meterstarke Bankung unterscheidet er sich nicht vom massigen Dolomit. Das einzige Vorkommen befindet sich in der äußersten SW-Ecke des Untersuchungsgebietes.

## 2.2 MALM: SCHÜSSELBETONTE FAZIES

Die Gesteine der schüsselbetonten Fazies sind in eigenständigen Bereichen, den sogenannten Schüsseln, inmitten der Riffareale zur Ablagerung gekommen.

Die **Bankkalke**, Äquivalente des Treuchtlinger Marmors, sind in der Dietfurter Fazies (BANTZ 1970) ausgebildet.

Das Gestein ist in einem kleinen Steinbruch wsw. von Echendorf gut aufgeschlossen. Das Vorkommen ist eventuell ein Ausläufer der Prunner Bucht und somit der Paintener Schüssel.

Der splittrige, harte Kalkstein ist gut gebankt, mit Bankstärken zwischen 30 und 90 cm. Stellenweise können feine Poren, im frischen Anschlag zu erkennen, lagig angeordnet sein.

Es herrschen Brauntöne vor; die Färbung kann von Bank zu Bank unterschiedlich sein.

Kennzeichnend ist die im Regelfall lagig angeordnete Führung von Kieselbildungen mit feinporig weißer Rinde, die vereinzelt Abdrücke von Schalenschill aufweist.

In einigen Partien des Bankkalkes können die für den Treuchtlinger Marmor typischen sessilen Foraminiferen (Nubeculinellen) als weiße Punkte erkannt werden. Schwämme fehlen ganz. Die relativ häufigsten Fossilien sind Crinoidenstielglieder. Auch Schalenschill, hin und wieder einzelne Lamellibranchiaten (*Lima sp.*) und Brachiopoden (*Rhynchonella sp.*) sowie Seeigel (*Hemicidaroides*) sind zu finden. Auffällig ist die Kleinwüchsigkeit der Zweischaler und Seeigel.

Nw. von Tettenwang finden sich - in einem einzigen Lesesteinvorkommen - **Plattenkalke**. Man kann davon ausgehen, daß die Massenfazies im höheren Malm Epsilon, zumindest in Teilen, von Schichtfazies abgelöst wurde (Abb. 3). Bis auf wenige Reste wurden jedoch die Plattenkalke von der Verwitterung beseitigt.

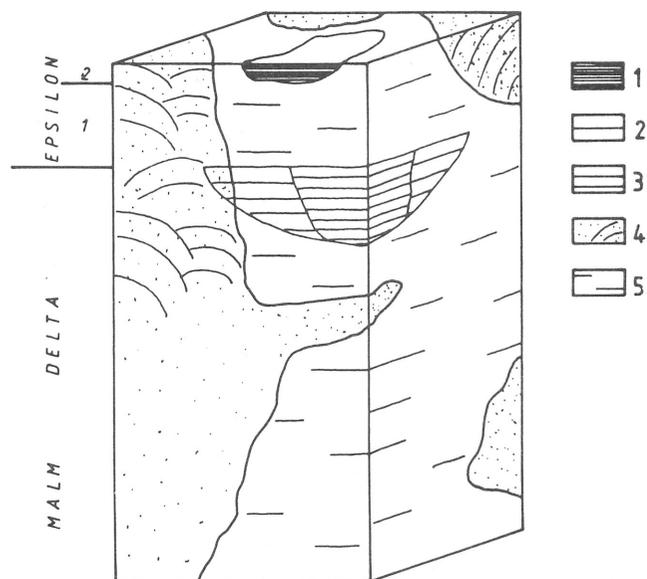


Abb. 3  
Modell der Stratigraphie und Gesteinsausbildung der Malmgesteine im Bereich Hexenagger - Tettenwang.

1 Plattenkalke, 2 Tafelbankiger Schwammkalk, 3 Bankkalk, 4 Massiger Dolomit (z.T. Riff-Fazies), 5 Massenkalk.

Wichtigstes Merkmal der Plattenkalke ist die stets ausgeprägte plattige Schichtung in Stärken von 0.5 und 1 cm, aber auch in dezi-meterstarken Bänken. Durch die Verwitterung wird eine latente Fein- und Feinstschichtung erkennbar.

Die Plattenkalke enthalten charakteristische Kieselbildungen: fast kugelfunde, tennisball- bis kindskopfgroße, schalig aufgebaute Knollen, die meist innen hohl sind und fast immer Fossilreste enthalten. Diese können sich im Zentrum, aber auch in den äußeren Schalen befinden. Es sind vornehmlich Abdrücke oder Steinkerne von Lamellibranchiaten oder Brachiopoden.

Daneben gibt es achatähnliche Kieselbildungen, die aus mehreren dichten, kompliziert miteinander verschlungenen, manchmal auch konzentrisch aufgebauten Wechselfolgen aus braunen, weißen, auch bläulichen Hornsteinlagen bestehen.

Im Schichtverband treten auch einzelne verkieselte Platten auf, die meist reich an Fossilschill sind.

In den Kieselkugeln wurden Lamellibranchiaten - *Chlamys sp.*, *Camptonectes sp.* - und Brachiopoden - *Robustirhynchia inconstans* - gefunden.

In den Plattenkalken fanden sich, außer einigen Fischschuppen, auch Reste eines Fisches, bei dem es sich um einen *Belonostomus* handeln könnte.

Über *Robustirhynchia inconstans*, dessen Vorkommen auf den höheren Malm beschränkt ist, wie mit den lithologischen Merkmalen können die Plattenkalke zur Setatuszone (= Malm Epsilon<sub>2</sub>) gestellt werden.

## 2.3 KREIDE

Aufgrund der recht wenigen Kreiderelikte kann angenommen werden, daß die Kreidebedeckung nur geringe Mächtigkeit erlangte. Ehemaliger Regensburger Grünsandstein ist impaktogen in eine dichte rötlich-braune Kie-

selmasse umgewandelt worden. An manchen Handstücken ist neben körniger Struktur im nahtlosen und regellosen Übergang homogene Kieselmatrix auszumachen.

Die Muschel *Inoceramus*, ein für die Kreide charakteristisches Fossil, ist recht häufig nachzuweisen. Es fand sich ferner - erstmalig in der danubischen Kreide - die Muschel *Neithea (Neitheops) aff. regularis* (SCHLOTH). Diese Art bezeichnet den Zeitabschnitt zwischen höherer Unterkreide und mittlerer Oberkreide.

## 2.4 TERTIÄR: OBERMIOZÄN

### 2.4.1 SÜSSWASSERKALKE

In kleinräumigen Senken entstehen vor dem Riesereignis durch den tektonisch bedingten Anstieg des Grundwasserspiegels kleine seeartige Gewässer, wie es auch von RUTTE (1984) für den Bereich von Viereichen angenommen wird. Es kommt örtlich zur Bildung von Süßwasserkalken. Im "Tiefen Obermiozän" verursacht das Riesereignis u.a. die teilweise Silifizierung dieser präriesischen Gesteine, die dann reliktsch als Alemonite vorliegen.

Es sind lakustrine Karbonate, an deren Entstehung im wesentlichen Algen beteiligt waren. Sie wurden an Orten mit geringer Wasserbewegung in relativ seichtem Wasser gebildet (ANDRES 1951).

Zwei lithologische Varietäten können unterschieden werden: ein aus großen Algenonkoiden bestehender Onkolith und ein kompakter Kalk, mit weniger großen Onkoiden und z.T. stromatolithisch strukturierten Algenmatten (leicht mit Massenkalk zu verwechseln). Durch die Verwitterung werden die großen Onkoide aus dem Verband gelöst und finden sich als eiförmige, hühnereigroße Knollen im Acker. Der dichte Algenkalk findet sich in kantigen, grau gefärbten Lesesteinen.

Eine Besonderheit sind dunkelgrau bis schwarz gefärbte Kalke, die sich überwiegend als aufgearbeitetes Material in den Algenknollenkalken finden. Sie werden überwiegend

aus Peloiden aufgebaut; enthalten gelegentlich Quarzkörner, jedoch keine Fossilien. Die dunkle Färbung wird durch die feine Verteilung von schwarz gefärbtem Hydrotroilit (= metastabiler, amorpher Pyrit) im Sediment hervorgerufen.

An Fossilien wurde ein fast vollständiger Steinkern einer linksgewundenen Turmschnecke als Landschnecke *Clausilia* aff. *bulimoides* (BRAUN) bestimmt. In Schliffen konnte häufig die Alge *Limnocodium* (ANDRES 1952) nachgewiesen werden.

Der Nachweis beider Fossilien legt die Bildungszeit der Süßwasserkalke in den Zeitraum des Obermiozäns.

#### 2.4.2 ZEUGNISSE DES RIESEREIGNISSES

Eine eingehende Darstellung des Riesereignisses und dessen Auswirkungen auf die Altmühlalb findet sich bei RUTTE (1981 a u. b, 1984). Es wird deshalb auf allgemeine Erklärungen verzichtet und ausschließlich die Besonderheiten des Gebietes Hexenagger - Tettenwang beschrieben.

Die "In-situ-Verkieselung" eines Plattenkalkes aus der Umgebung des Wasserbehälters nw. Tettenwang zeigt auffällige Zertrümmerungs- bzw. Beanspruchungsmerkmale als Reaktion auf die während der Impaktierung wirkenden Kräfte in Form treppenartig gegeneinander verschobener Trümmerteile. Die Verschiebung erfolgte entlang der Schichtflächen. Dabei verursachten Verbiegungen das Zerbrechen in bauklötzchengroße Teile. Ein keilförmig innerhalb des Gesteins steckendes Stück Kalk ist nicht verkieselt, aber intensiv zerbrochen. Ähnliche Bildungen finden sich nicht selten.

Desgleichen sind netzartige, regellose Kleinklüftungen von Plattenkalken als impaktogen zu deuten. Die Kleinklüfte sind durch sekundären Kalzit verheilt.

Ferner sind große Malmkalkblöcke völlig in kleine eckige Stücke zertrümmert. Schon bei leichtem Anschlagen mit dem Hammer zerfällt das Gestein in zahllose Splitter. RUTTE (1981 b) beschreibt ähnliche impaktogene Bildungen vom Mandelberg bei Baiersdorf.

Das Eisenerz von Tettenwang wird als ein weiteres Zeugnis des Riesereignisses angesehen. Das Hauptvorkommen erstreckt sich auf einer Fläche von ca. 35 ha w. und nw. Tettenwang. Zentrum und zugleich höchster Geländeteil ist der 200 m nw. Tettenwang gelegene Wasserbehälter (P. 471.3). Geringe Mengen Erz finden sich auch im Bereich des tafelbankigen Schwammkalkes bei P. 435.1, n. von Schloß Hexenagger. Beide Vorkommen liegen auf der sich e. vom Ries erstreckenden Nivellierungsfläche (RUTTE 1981 b).

Das Tettenwanger Eisenerzvorkommen - 85 km von Mitte Ries entfernt - stellt beachtliche Mengen von Lesesteinen. Da das Gelände zum größten Teil landwirtschaftlicher Nutzung unterliegt, fördert der Pflug infolge der geringmächtigen Bodenbedeckung alljährlich massenweise aus dem Anstehenden gelöstes Gesteinsmaterial jeder Größenordnung. Die Lesesteinhaufen sind demzufolge wahre Fundgruben vor allem für das Eisen. Die größten befinden sich am Wasserbehälter und 200 m n. am Waldrand. Zahlreiche kleinere Haufen finden sich auch an den Feldrändern.

Im bearbeiteten Revier können schätzungsweise zur Zeit auf einen Zentner Kalkgestein 5 kg Eisenerz kommen. Doch ist davon auszugehen, daß ursprünglich weit größere Mengen angestanden haben, denn im Gebiet um Tettenwang gab es in historischer Zeit nachweislich nicht nur einen umfangreichen Abbau sondern auch Verhüttung von Eisen.

Mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie konnte festgestellt werden, daß es sich beim Tettenwanger Eisenerz fast ausschließlich um Goethit oder Nadeleisenerz ( $\alpha$ -FeOOH) handelt.

Die immer vorhandenen geringen Anteile von Hämatit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) lassen vermuten, daß das Goethiterz das Verwitterungsprodukt des Hämatits ist.

Das Eisenerz kommt nur in Verbindung mit den Malmkalken vor. Stücke, die äußerlich als Dolomit zu bezeichnen wären, wurden als rekalzitisierte Dolomite (= Zuckerkornkalke) erkannt. In diesen Zuckerkornkalken wurde das Mineral Ankerit ( $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$ ), ein eisenreicher Mischkristall zwischen Siderit und Dolomit, der stets Mg und Mn in isomorpher Form enthält, festgestellt. Ankerit pflegt sich beim Auftreten von Eisenlösungen auf Mg-haltiges Kalziumkarbonat zu bilden.

Das Erz ist im frischen Anschlag dicht und feinkörnig und von grauschwarzer Farbe. An den Außenseiten sind Rosterscheinungen zu sehen. An Kluffüllungen wurde ein feinporiger Aufbau des Nadeleisenerzes festgestellt; auch glaskopffartige Ausbildung kann beobachtet werden. Eine Bevorzugung bestimmter Malmkalkvarietäten ist nicht gegeben. Ebenso scheinen weder die Konsistenz noch der Porenraum der Kalke eine Rolle zu spielen.

Die häufigste Erscheinungsform des Erzes sind (z.T. mehrere Zentimeter dicke) wulstige harte Krusten. Fast ebenso häufig sind eisenimprägnierte Kalksteine. Die Eisenimprägnationen zeigen, daß das Eisenerz offensichtlich als Lösung in den Malmkalk eindringen konnte und eine metasomatoseähnliche Situation entstand, jedoch ohne Mineralneubildung (Ausnahme: Ankerit, in geringen Spuren).

Imprägnationen treten in vier Variationen auf: als randlich begrenzte Imprägnationen; als wolkig-schwarze Totalimprägnationen; in Form gebänderter Lagen; als konzentrisch angeordnete Ringstrukturen (Liesegang'sche Ringe).

Eine besondere Art des Vorkommens stellt das Eisenerz als Matrix von Malmkalk- oder Alemonitbrekzien (Abb. 4) dar.

Der Malmkalk wurde zertrümmert, dabei mehr oder weniger stark gegeneinander verschoben, aber gleichzeitig durch eindringende

Eisenlösungen fixiert. Die am stärksten vererzte Seite weist die stärkste Zertrümmerung auf.

Das Erz führt häufig Gesteinssplitter (Abb. 4).

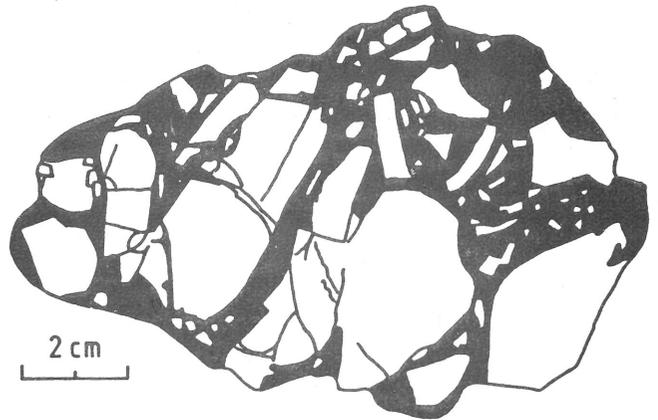


Abb. 4  
Schnitt durch eine Alemonit-Eisen-Brekzie. Die silifizierten Malmkalkstücke (weiß) sind zertrümmert und in einer Eisenerz-Matrix (schwarz) eingebettet. (Zeichnung nach einem Originalfoto).

Ein vergleichbares Vorkommen ist unbekannt. Als Erklärung kann eine impaktogene Entstehung im Zusammenhang mit dem Riesereignis in Betracht genommen werden.

Dies unterstreichen die geochemischen Untersuchungen. Relativ umfangreiche quantitative und qualitative Analysen auf insgesamt 21 Haupt- und Spurenelemente, die dankenswerterweise von der BASF AG in Ludwigshafen/Rhein durchgeführt wurden, brachten im wesentlichen folgendes Ergebnis (APPEL 1985):

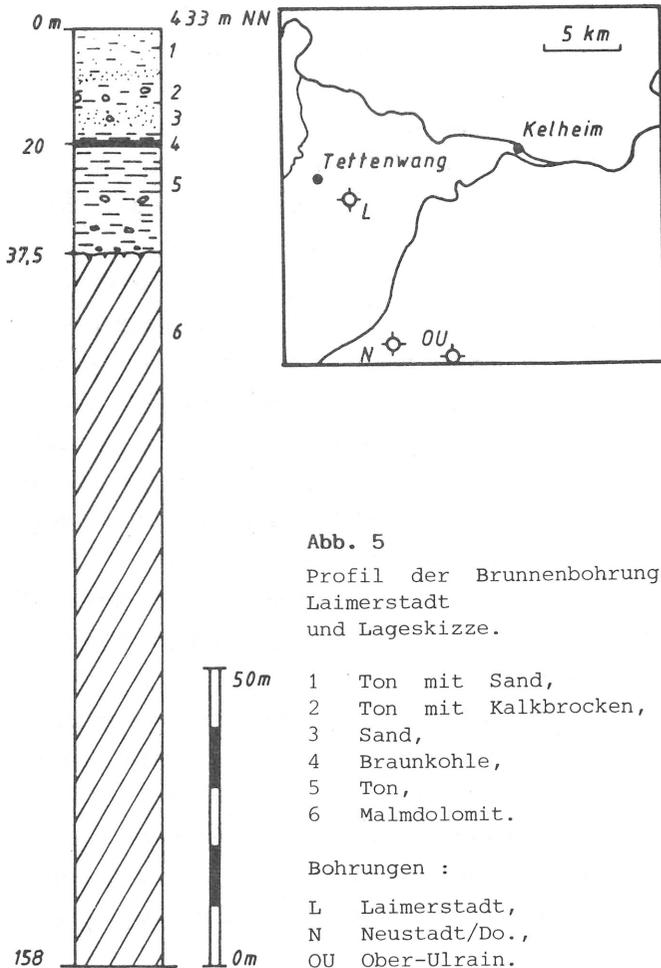
- Es wurde eine Anreicherung der meteoritentypischen siderophilen Elemente Ni (um einen Faktor von mind. 10 - 20), Co (um einen Faktor von ca. 200) und von Mo (um einen Faktor von ca. 50) gegenüber der geologischen Umgebung festgestellt.
- Des weiteren zeigte sich eine ungewöhnliche Konstellation von siderophilen, chalkophilen und lithophilen Elementen, deren Herkunft zum größten Teil nicht aus den umliegend anstehenden oder auch einstmals darüber liegenden Jurakalken abgeleitet werden kann.

- Die Spurenelementzusammensetzung des Tettenwanger Eisenerzes kann als steinmeteoritisch bezeichnet werden.

Die **Lehmige Albüberdeckung** wird von RUTTE (1981 a) als Verwitterungsprodukt des beim Riesereignis entstandenen Impaktstaubes gedeutet. Im bearbeiteten Gebiet weist sie nur relativ geringe Mächtigkeiten auf. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf die Hochflächen.

### 2.4.3 BRAUNKOHLENTERTIÄR

In einer Brunnenbohrung bei Laimerstadt wurde Braunkohlentertiär durchteuft. Die Bohrung befindet sich 2 km se. Tettenwang (r: <sup>44</sup>80020, h: <sup>54</sup>17280).



### 2.4.4 FLINZSEDIMENTE DER OBEREN SÜSSWASSERMOLASSE

Die Flinzsedimente, Glimmersande mit Kleinkiesen, sind in der se. Blattecke zu finden. Es können zwei Faziestypen unterschieden werden:

- Hellgelbe bis weiße, mittel- bis grobkörnige Sande mit gerundeten wassergrauen oder klaren Quarzkörnern. Der Glimmergehalt ist nicht sehr hoch; kennzeichnend ist ein gelber Schluffanteil.
- Dunkle, rötlichbraune Glimmersande mit Feinkiesanteil. Sie weisen eine starke, gleichmäßig verteilte Glimmerführung auf und sind durch einen hohen Schluffanteil gebunden. Die Korngrößen liegen zwischen Feinsand (0.063 mm) bis Kies (20 mm). Die Kiesfraktion besteht aus erbsengroßen, gut gerundeten Quarzkörnern. Es sind überwiegend Milchquarze, oft gelblich oder blaugrau gefärbt. Neben Quarzen finden sich auch kantengerundete, meist aber eckige Komponenten von glimmerhaltigen Kalksandsteinen, Süßwasserkalken, Alemoniten, Malmkalk sowie Bohnerzknöllchen. Die Flinzsedimente sind also jünger als die Süßwasserkalke und das Riesereignis.

### 2.5 QUARTÄR

Der Löß liegt als weitgehend entkalktes Verwitterungsprodukt, als **Lößlehm** vor. Er ist feinkrummig, zerfällt leicht und bildet keine harten und groben Ackerschollen. Das größte geschlossene Lößlehmvorkommen findet sich n. Tettenwang, am ostwärts geneigten Hang e. P. 456.7.

**Hangschutt** und **Kolluvione** stellen holozäne Abschlämmsmassen an steilen Hängen, an Talausgängen und in Talfüllungen dar.

### 3. TEKTONIK

Das Kartiergebiet liegt auf dem durch die Bohrung Riedenburg (SCHMIDT-KALER 1968 b) nachgewiesenen Riedenburger Hoch, w. der N - S verlaufenden Sausthal-Zone (RUTTE 1970).

Aus den Bohrungen Laimerstadt (Abb. 5) (Malm-Top bei 395.5 m NN), Neustadt/Do. (Malm-Top bei 272 m NN) und Ober-Ulrain (Malm-Top bei 241 m NN) wird das südwärtige Abtauchen der Malmgesteine deutlich.

In der geologischen Karte sind keine Störungen eingezeichnet, weil das Gelände wie auch die Aufschlüsse keine Hinweise auf tektonische Vorgänge zu erkennen geben. In den geschichteten bzw. gebankten Gesteinen ist, mit einer Ausnahme, keine tektonische Klüftung festzustellen.

Die Ausnahme ist der Bankkalkaufschluß se. der Leistmühle. Die Bankkalke streichen hier  $135 - 140^\circ$  und fallen  $10 - 15^\circ$  nach SW ein. Ein Kluftsystem streicht  $60^\circ$  (Abb. 9) und fällt mit  $45^\circ$  nach NW ein, ein anderes (wie das Schichtstreichen)  $140^\circ$  bei Fallen  $60 -$

$70^\circ$  NE. Die Klüfte scharen sich im Abstand von  $20 - 30$  cm.

An allen Talhängen ist gravitative talparallele Klüftung stark ausgeprägt.

Auffällig ist die Erstreckung der Trockentäler in herzynischer Richtung (im Mittel  $127^\circ$ ). Die Anlage der Täler erfolgte demnach vermutlich auf tektonisch vorgegebenen Linien; jedoch sind auch hier Störungen nicht nachzuweisen.

Da das Arbeitsgebiet wenig tektonische Hinweise liefert, wurde versucht, Informationen durch die Fotolineation zu erhalten. Fotolineation ist die Kartierung von natürlichen geraden Linien, den Lineamenten oder Linearen, auf Satelliten- oder Luftbildern.

Es kann sich dabei um "... gradlinige Tal- und Flußsegmente, Vegetationsreihen- und Grenzen ..." (GÜNTHER 1975: 313) oder linienhafte Grautonunterschiede handeln. "Die tektonischen Ursachen für als Fotolineare auffallende Bruchstrukturen sind ... überwiegend steile Kluftbündel - oder Verwerfungszonen, die an der Erdoberfläche meist durch sekundäre Effekte (tiefgreifende Verwitterung,

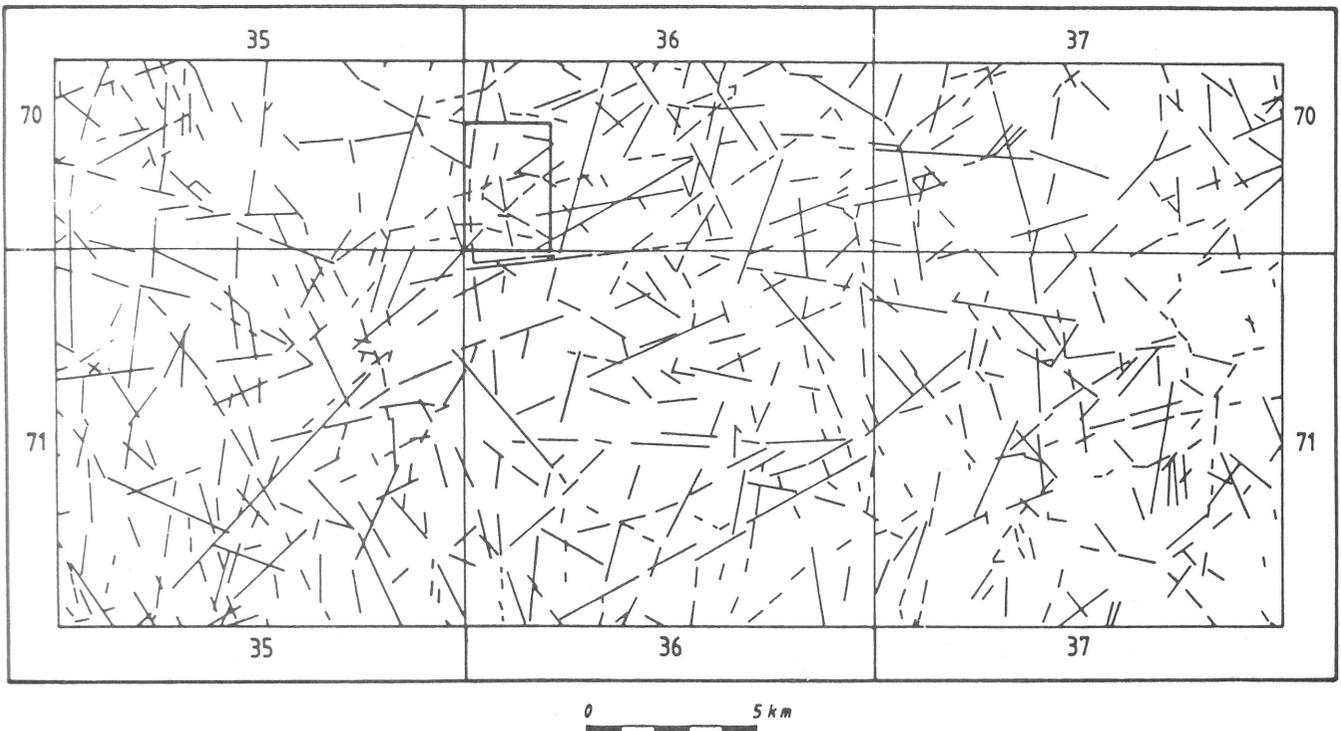


Abb. 6

Fotolineationen in LANDSAT-02-Aufnahme.

Das Kartiergebiet ist durch eine stärkere Umrandung gekennzeichnet. Erläuterungen im Text.

Feuchtestau, morphologische Nachzeichnungen u.a.) für die Fernerkundung wahrnehmbar werden. Störungsbedingte Lineare treten zumindest in LANDSAT - Kartierungen an Zahl zurück" (BAYER 1982: 37).

Für die vorliegende Arbeit wurde eine Aufnahme\* des Erderkundungssatelliten LANDSAT-02 verwendet. Das Satellitenbild wurde im M.S.S. (multi spectral scanner = Bildaufzeichnungssystem) Band 7, also nahem Infrarot (0.8 - 1.1  $\mu\text{m}$ ) aufgenommen, das die schärfsten Kontraste in vegetationsbedeckten und vegetationsfreien Gebieten liefert (NITHAK et al. 1975).

Ausgewertet wurde ein überregionaler Bereich nach einer 3.7-fachen Vergrößerung der Originalaufnahme. Demnach sind nach der Methode der Fotolineation erstmals die Meßtischblätter Kösching, Neustadt/Do. und Abensberg sowie die S-Hälften der Blätter Schamhaupten, Riedenburg und Kelheim bearbeitet.

Abb. 6 zeigt die tektonische Strukturierung. Allgemein ist eine relativ gleichmäßige Verteilung der Lineare sowie die gute Wiedergabe langgezogener Lineamente durch Molassegebiete festzustellen.

Die tektonischen Hauptrichtungen aus Abb. 6 sind in einer Richtungsrose (Abb. 7) dargestellt (jeweils  $\pm 5^\circ$ ):  $15^\circ$  "rheinisch" /  $65^\circ$  ENE - WSW /  $105^\circ$  W.WNW - E.ESE /  $155^\circ$  NNW - SSE /  $175^\circ$  N - S.

Die Minima zwischen  $90 - 100^\circ$  sowie  $110 - 120^\circ$  und das schwache Maximum zwischen  $100 - 110^\circ$  können durch den Überlagerungseffekt der Aufnahmeinformation durch die ungefähr  $105^\circ$  streichenden Scanlinien (Prinzip der Zeilenabtastung) des Aufzeichnungsgerätes verursacht sein.

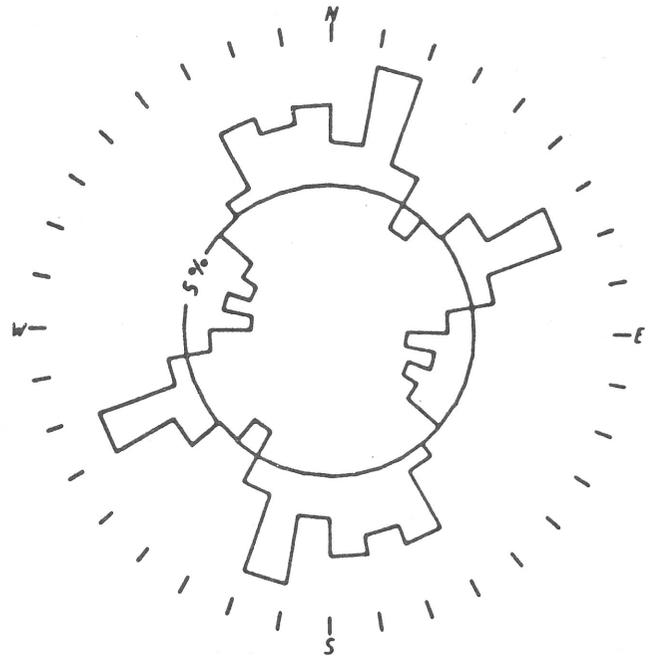


Abb. 7  
Die Richtungsrose beruht auf den Meßdaten der in Abb. 6 dargestellten 793 Linearen. (Computer-Auswertung).

Die Lineamente des Kartiergebietes sind in die großen Bruchstrukturen der Umgebung eingebunden (Abb. 6). Ausgeprägte Linearsysteme durchziehen das Gebiet in den Richtungen NE - SW, NW - SE sowie N - S.

Eine lagegetreue wie winkelgetreue Projektion der Lineare auf das Kartiergebiet (Abb. 8) zeigt keinen Bezug zum Talsystem.

Der Aufschluß Wacholder-Tal (Abb. 8) bietet auf 17 m Länge in einer niedrigen Böschung an der n. Wegseite Dolomit. Er ist hier engständig geklüftet: eine einmalige Beobachtung. Die Klüfte durchziehen das Gestein im Abstand von wenigen Zentimetern. Sie streichen  $40 - 50^\circ$  und fallen  $60^\circ$  NW - oder stehen saiger. Es darf davon ausgegangen werden, daß die Klüftzone den (selten) sichtbaren Bereich eines Lineamentes (Abb. 8) darstellt.

\* Archivnummer: T 2 208 26 13 / Aufnahme-datum: 03.09.1980 / Lfd.Nr.: 485 / Kanal: 7 m.s.s. / Quelle: DFVLR - GSOC (NPOC) 8031 Oberpfaffenhofen.

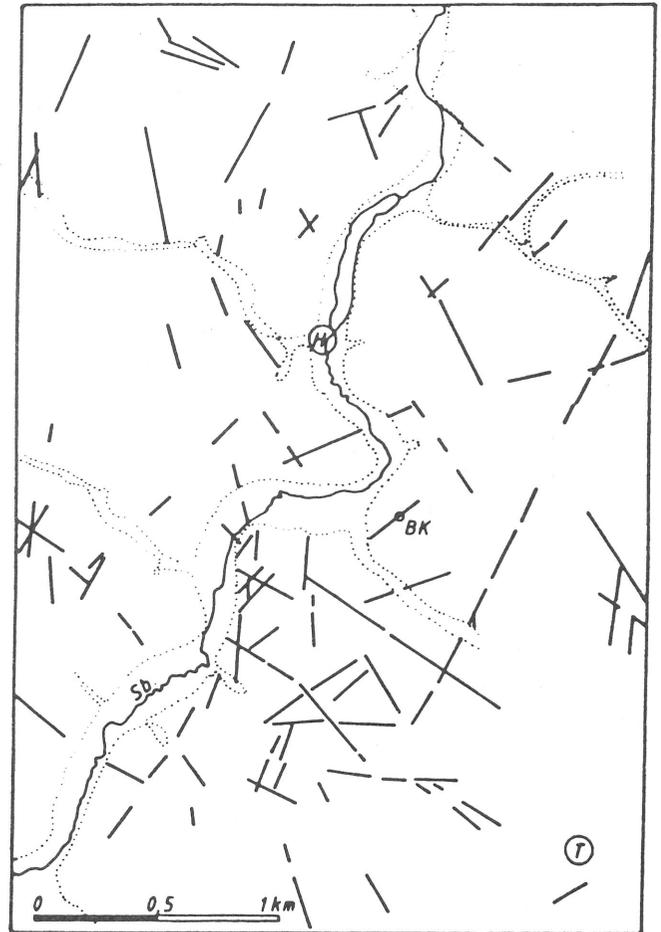
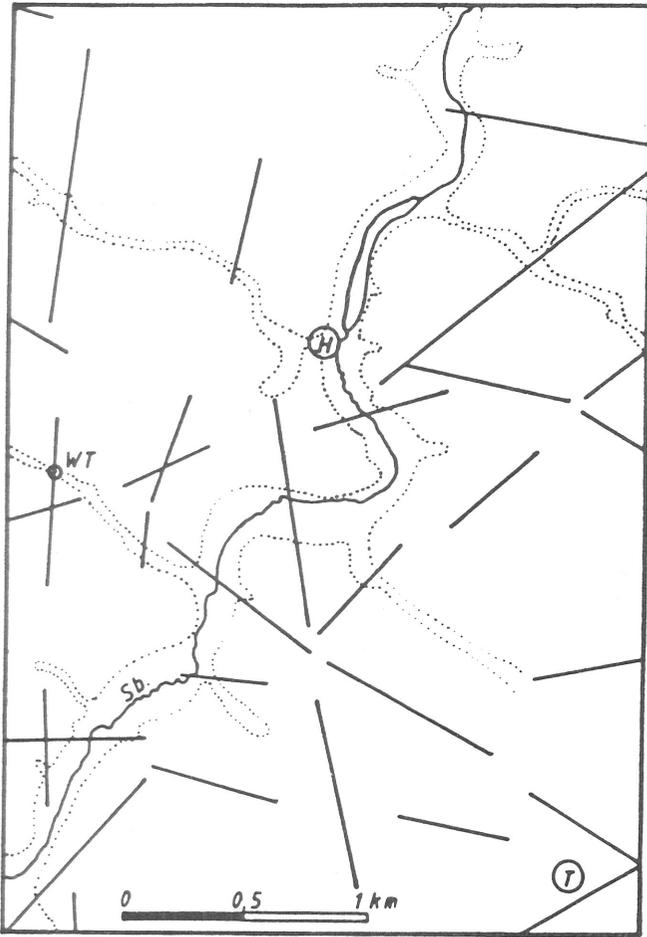


Abb. 8  
Satellitenbildfotolineare im Arbeitsgebiet.

Abb. 9  
Luftbildfotolineare im Arbeitsgebiet.

Das Talsystem ist gepunktet gezeichnet. H Hexenagger, T Tettenwang, Sb Schambach, WT Aufschluß Wacholdertal, BK Bankkalkaufschluß.

Zusätzlich zur Satellitenbildauswertung wurde eine Luftbildauswertung\* (Abb. 9) vorgenommen. Dabei wurde festgestellt, daß die auf dem Satellitenbild kartierten Lineare (Abb. 8) nur andeutungsweise, überdies in veränderter Form zu finden sind.

#### 4. HISTORISCHES ZUM TETTENWANGER EISEN

Für den Bereich der östlichen Altmühlalb stellten Eisenerzabbau, -verhüttung und -verarbeitung seit den Kelten einen beachtlichen Wirtschaftsfaktor dar. Dies wurde ermöglicht

durch die zahlreichen oberflächennahe gelegenen und demzufolge leicht abzubauenen Eisenerzvorkommen.

Eisengewinnung ist bei Schafshill, 4 km w. Hexenagger und im Waldgebiet Pflegeholz, 3 km nw. Hexenagger seit dem 14. Jahrhundert belegt. Der Abbau wurde im großen Stil betrieben und das Erz in eigens dafür errichteten Hammerschmieden verarbeitet. 1836 wurde das bei Schafshill, Georgenbuch (Pflegeholz) sowie Thann, Eggersberg und Schamhaupten gewonnene Erz in den Eisenwerken in Riedenburg, Altessing, Regendorf und in der Hammermühle an der Laaber verarbeitet. Die aus dem 15. Jahrhundert stammende Hammerschmiede in Hexenagger ist als Museum ausgebaut.

\* Bildflug Nr.: 82016 / Streifen Nr.: 3 / Bild Nr.: 163 u. 164 / Gebiet: Kelheim - Straubing / Aufnahmedatum: 16.05.1982 / Freigegeben unter Nr. 76 / Bayer. Landesvermessungsamt München.

Aber auch schon die Kelten und Römer nutzten die Eisenvorkommen. Ein Abbau zu dieser Zeit wurde nach Bedarf betrieben und das Erz in sogenannten "Bauernschmelzen" verhüttet. Diese Art der Verhüttung war noch bis ins Mittelalter (BURGER & GEISLER 1983) und darüber hinaus gebräuchlich. Der Verhüttungsprozeß verlief nach dem Prinzip des Rennfeuers. Das oxidische Eisenerz wurde schichtweise mit Sand und Holzkohle eingegeben. Es wurden Temperaturen von max. 1300°C erreicht (MOESTA 1983). Die Zugabe eines silikatischen Zuschlags - in diesem Fall zerkleinerte Alemonite oder Flinzsande und -kiese - löst die Bildung einer fayalitischen (Fayalit:  $\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$ ) Schlacke aus, unter deren Schutz sich überschüssiges Eisen bilden kann. Die Eisenpartikel sammeln sich am Herdboden und bilden einen schwammigen, locker zusammenhängenden Körper, die sogenannte 'Luppe'. Die auslaufende Schlacke - daher die Bezeichnung Rennfeuer - enthält noch 2/3 des ursprünglichen Eisengehaltes.

Bei Aushubarbeiten auf der Pferdekoppel hinter der Hammerschmiede in Hexenagger wurde eine Luppe gefunden und auf ihre Haupt- und Spurenelementzusammensetzung hin untersucht. Typisch sind die durch den Schmelzprozeß angereicherten hohen Gehalte an lithophilen Elementen (Si, K, Al, Na). Die Spurenelemente sind in ihrer ungefähren Quantität identisch

mit denen des Tettenwanger Eisenerzes. Den hohen K-Gehalt führt FRÖHLICH (1984) auf die Verwendung von Holzkohle beim Schmelzprozeß zurück.

Im Bereich des gesamten Kartiergebietes finden sich Schlacken, angereichert im Flurgebiet n. Tettenwang. 300 m ne. Tettenwang gab es bis zur Flurbereinigung den Flurnamen 'Eisengräh' (= Eisengrube). Im Weiden-Holz und vermehrt im Waldgebiet n. davon beobachtet man runde, 2 - 3 m große Bodenmulden; es dürften die Reste von Bauernschmelzen sein.

Das Tettenwanger Erzvorkommen eignete sich in idealer Weise für einen Abbau. Es ist oberflächennah gelegen und die Eisen-Kalkbrocken konnten mit der Hand gesammelt werden. In den umliegenden Wäldern fand sich für die Verhüttung Holz, und neben den Alemoniten ist in nächster Nähe Molassesand vorhanden.

So ist es denkbar, daß das Eisenvorkommen von Tettenwang für die nicht weit entfernten römischen Militärlager (z.B. das Legionslager Eining/Do.) genutzt wurde. "Eine einzige römische Legion mit 6 000 Männern mag zwischen 3 und 5 kg Eisen pro Mann nur für die Bewaffnung benötigt haben; rechnet man noch Werkzeuge und Schanzgeräte hinzu, ergeben sich Eisenmengen zwischen 20 und 30 Tonnen für eine schwerbewaffnete Legion" (MOESTA 1983: 156).

\*\*\*

#### Impressum :

Autor : Michael Appel, Würzburg.  
Layout : Anton Röhrl, Weltenburg.  
Druck : Hausdruckerei der Weltenburger Akademie.  
Bezugsquellen : Weltenburger Akademie, Postfach 1270,  
8423 Abensberg, Buchhandel und Archäologisches Museum der Stadt Kelheim.  
Bestell-Nr. : 5.5  
Auskunft : Anton Röhrl, Asamstr. 32, 8420 Kelheim/  
Weltenburg

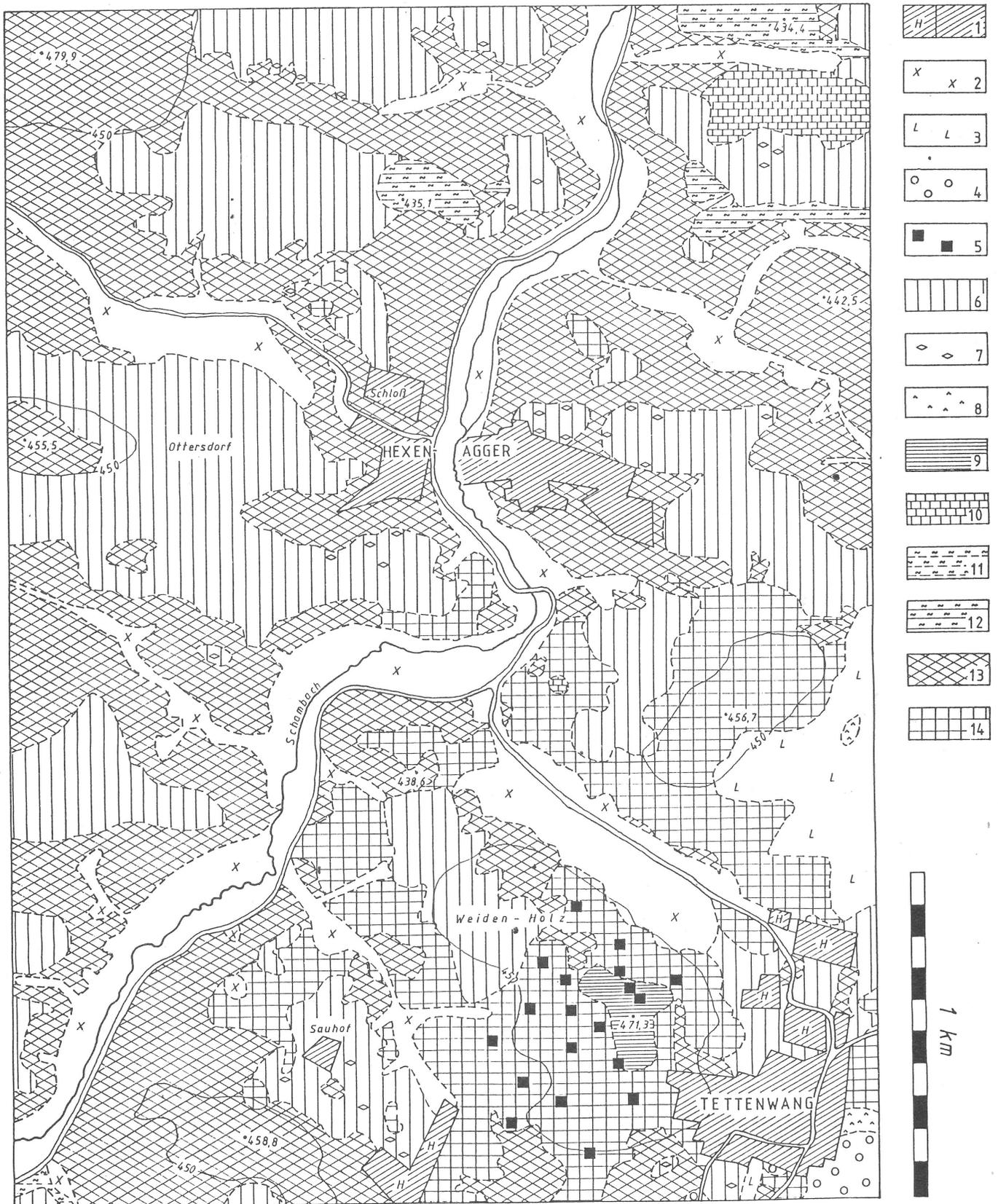
© Verlag der Weltenburger Akademie 1985

## L I T E R A T U R

- ANDRES, G. (1951): Die Landschaftsentwicklung der südlichen Frankenalb im Gebiet Hofstetten - Gaimersheim - Wettstetten nördlich von Ingolstadt. - *Geologica Bavarica*, 7: 1 - 57; München.
- ANDRES, G. (1952): Eine Kalkalge aus dem Torton der südlichen Frankenalb. - *Geologica Bavarica*, 14: 41 - 47; München.
- APPEL, M. (1985): Meteoritisches Eisen auf der Altmühlalb. - *Z. dt. geol. Ges.*, 136: 157 - 166; Hannover.
- BAUSCH, W. (1963): Der Obere Malm an der Unteren Altmühl. Nebst einer Studie über das Riffproblem. - *Erl. geol. Abh.*, 49; Erlangen.
- BAUSCH, W. (1965): Dedolomitisierung und Recalcitisierung in fränkischen Malmkalken. - *N. Jb. Min. Abh.*, 3: 75 - 82; Stuttgart.
- BANTZ, H.-U. (1970): Der Fossilinhalt des Treuchtlinger Marmors (Mittleres Unter-Kimmeridge der Südlichen Frankenalb). - *Erl. geol. Abh.*, 82; Erlangen.
- BAYER, H.-J. (1982): Bruchtektonische Bestandsaufnahme der Schwäbischen Ostalb. (Geländeuntersuchungen, Luftbild- und Satellitenbilddauswertungen). - *Diss. T.U. Clausthal*; Clausthal.
- BEURER, M. (1971): Kieselsäureanreicherungen in den oberjurassischen Sedimenten der Schwäbischen Alb. - *Beih. Geol. Jb.*, 109: 1 - 69; Hannover.
- BINDER, J. (1983): Geologische Kartierung des Gebietes zwischen Donau bei Kloster Weltenburg und Altmühl am großen Schulerloch. - *Weltenburger Akademie, Gruppe Geschichte*: 1 - 35; Kelheim/Weltenburg.
- BLATT, H., MIDDLETON, G. & MURRAY, R. (1972): *Origin of Sedimentary Rocks*. - Englewood Cliffs, New Jersey (Prentice-Hall Inc.).
- BURGER, I. & GEISLER, H. (1983): Archäologisches zur Eisenverhüttung in und um Kelheim. - *Erwin Rutte-Festschrift*, 41 - 57; Weltenburger Akademie, Kelheim/Weltenburg.
- DORN, C. (1940): Beiträge zur Kenntnis der obermiozänen Süßwasserablagerungen der Altmühlalb. - *Zbl. Min. etc.*, B: 321 - 333; Stuttgart.
- ERNSTSON, K. (1983): Kleinräumige Anomalien des Erdmagnetfeldes im Gebiet der Südlichen Frankenalb und ihre Deutung. - *Geol. Bl. NO-Bayern*, 33: 1 - 17; Erlangen.
- FLÜGEL, E. (1977): *Fossil Algae. - Recent results and developments*. - 375 S.; Berlin Heidelberg New York (Springer).
- FLÜGEL, E. (1978): *Mikrofaziale Untersuchungsmethoden von Kalken*. - 454 S.; Berlin Heidelberg New York (Springer).
- FRÖHLICH, F. (1984): Chemische und mineralogische Untersuchungen an einigen frühgeschichtlichen und mittelalterlichen Eisenschlacken Bayerns. - *Acta Albertina Ratisbonensis*, 42: 33 - 52; Regensburg.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. (1977): *Sedimente und Sedimentgesteine. Sedimentpetrologie Teil II*, 3. Aufl. - Stuttgart (Schweizerbart).
- GÜMBEL, C.W. (1891): *Geognostische Beschreibung der Fränkischen Alb*. - 763 S.; Kassel.
- GÜNTHER, R. (1975): *Anwendungsbeispiele von Fernerkundungsverfahren in der Geologie*. - *Symposium Erderkundung DFVLR - DGR*, 311 - 328; Köln-Porz.
- KRUMBEIN, W.E. (1983): Biogene Lamination - Stromatolith und Biostrom. - *Erwin Rutte-Festschrift*, 133 - 141; Weltenburger Akademie, Kelheim/Weltenburg.
- MÄUSER, M. (1984): *Geologie des Gebietes von Jachenhausen bei Riedenburg (Südliche Frankenalb)*. - *Weltenburger Akademie, Gruppe Geschichte*, 1 - 21; Kelheim/Weltenburg.
- MEYER, R.K.F. (1975): Mikrofaziale Untersuchungen in Schwammbiohermen und -Biostromen des Malm Epsilon (Ober-Kimmeridge) und obersten Malm Delta der Frankenalb. - *Geol. Bl. NO-Bayern*, 25: 149 - 177; Erlangen.
- MEYER, R.K.F. (1977): *Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits und der Massenkalk (Malm)*, 3. Teil Südliche Frankenalb. - *Erl. geol. Abh.*, 104; Erlangen.

- MEYER, R. & SCHMIDT-KALER, H. (1983): Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb. - 260 S.; Bayer. Geol. Landesamt, München.
- MOESTA, H. (1983): Erze und Metalle - ihre Kulturgeschichte im Experiment. - Berlin Heidelberg New York (Springer).
- NITHAK, J. & BODECHTEL, J. (1975): Landnutzungskartierung aus LANDSAT-1 und SKYLAB Aufnahmen mit konventionellen Methoden. - Symposium Erderkundung, DFVLR - DGR, 345 - 366; Köln-Porz.
- ROLL, A. (1932): Zum Problem der Tithonrelikte auf der nördlichen Frankenalb. - Zbl. Min. Geol. Abt. B, 444 - 451; Stuttgart.
- ROOS, W.F. (1976): Kartierung von Alemoniten im Ostteil der Südlichen Frankenalb. - Oberrhein. geol. Abh., 25: 75 - 95; Karlsruhe.
- RUDER, J. (1976): Die Erderforschungssatelliten LANDSAT (ERTS) und SKYLAB unter besonderer Berücksichtigung ihrer für den Geowissenschaftler interessanten Daten. - Geol. Jb. A, 33: 5 - 19, Hannover.
- RUTTE, E. (1954): Eine Klassifikation der Karbonatischen Süßwassergesteine mit Beispielen aus Südwestdeutschland. - N. Jb. Geol. u. Pal. Abh., 100: 208 - 246; Stuttgart.
- RUTTE, E. (1961): Mikrofossilien in Süßwassersedimenten. - Geol. Rundschau, 51: 657 - 663; Stuttgart.
- RUTTE, E. (1962): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000 Blatt 7037 Kelheim; München.
- RUTTE, E. (1965): Beziehungen zwischen Dolomitisierung und Fazies im Kelheimer Jura. - Z. dt. geol. Ges., 115: 100 - 108; Hannover.
- RUTTE, E. (1970): Neue Daten zur Geologie des Bereichs von Kelheim. - Geol. Bl. NO-Bayern, 20: 119 - 139; Erlangen.
- RUTTE, E. (1971): Neue Ries-äquivalente Krater mit Brekzien-Ejekta in der südlichen Frankenalb, Süddeutschland. - Geoforum, 7: 84 - 92; Braunschweig.
- RUTTE, E. (1974): Neue Befunde zu Astroblemen und Alemoniten in der Schweifregion des Rieskometen. - Oberrhein. geol. Abh., 23: 97 - 126; Karlsruhe.
- RUTTE, E. (1980): Ehemalige Bergwerksanlagen im Paintener Forst. - Weltenburger Akademie, Gruppe Geschichte, Schriftenreihe 2.3; Kelheim/Weltenburg.
- RUTTE, E. (1981 a): Bayerns Erdgeschichte. - 266 S.; München (Ehrenwirth).
- RUTTE, E. (1981 b): Geologie im Landkreis Kelheim. - Landkreisbuch, 1 - 48; Kelheim.
- RUTTE, E. (1984): Der Bergbau auf Eisenerz in Viereichen im Frauenforst zwischen Kelheim und Regensburg. - Weltenburger Akademie, Gruppe Geschichte, 1 - 23; Kelheim/Weltenburg.
- SCHMIDT-KALER, H. (1968 a): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000 Blatt Nr. 7136 Neustadt a.d. Donau. - München.
- SCHMIDT-KALER, H. (1968 b): Hohe Lage des Kristallins unter der Südlichen Frankenalb (vorläufiges Ergebnis der Tiefbohrung Riedenburg). - Geol. Bl. NO-Bayern, 18: 181 - 185; Erlangen.
- SCHNITZER, W.A. (1956): Die Landschaftsentwicklung der südlichen Frankenalb im Gebiet Denkendorf - Kösching nördlich von Ingolstadt. - Geologica Bavarica, 28: 1 - 47; München.
- SCHNITZER, W.A. (1963): Zum Problem der Dolomitsandbildung auf der südlichen Frankenalb. - Mitt. d. Fränk. Geograph. Ges., 10: 292 - 296; Erlangen.
- SCHUSTER, J. (1908): Verschollene Erzgruben bei Schafshill (Schambachtal). - Ingolstadt.
- STREIM, W. (1961): Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malm bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb). - Erl. geol. Abh., 38; Erlangen.
- WEBER, K. (1978): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000 Erläuterungen zum Blatt 7137 Abensberg. - Bayer. Geol. Landesamt; München.
- ZENGER, D.H., DUNHAM, J.B. & ETHINGTON, R.I. (eds.) (1980): Concepts and models of dolomitization. - SEPM Special Public., 28; Tulsa, Oklahoma, U.S.A.





Geologische Karte des Gebietes Hexenagger - Tettenwang

Holozän: 1 Anthropogen überprägt (H = Hopfengarten) - 2 Kolluvium, Hangschutt - Pleistozän: 3 Lößlehm - Tertiär (Obermiozän): 4 Sande und Kleinkiese der Oberen Süßwassermolasse - 5 Eisenerz - 6 Lehmgige Albüberdeckung - 7 Alemonite gehäuft - 8 Süßwasserkalke - Jura (Malm): 9 Plattenkalke (Epsilon<sub>2</sub>) - 10 Bankkalke (Delta) - 11 Tafelbankiger Dolomit (Delta) - 12 Tafelbankiger Schwammkalk (Delta) - 13 Massiger Dolomit (Delta-Epsilon) - 14 Massenkalk (Delta-Epsilon).