

# GEOLOGICA BAVARICA

Herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt

---

91

## Der Bergbau in Bayern

Mit Beiträgen von

ALBERT DOBNER  
HANS JOACHIM EXLER  
HELMUT GUDDEN  
EMIL HADAMITZKY  
ULRICH LAGALLY

REINHARD STREIT  
MARGRET VIERNSTEIN  
WOLFGANG F. WALDNER  
WINFRIED WEINELT  
HERMANN WEINIG

Mit einem Vorwort von JOSEPH H. ZIEGLER

Herausgeber und Verlag:  
Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-8000 München 40

Redaktion:  
KLAUS SCHWERD und WINFRIED WEINELT

München 1987

Geologica Bavaria	91	216 S.	63 Abb.	27 Tab.	8 Fototaf.	2 Beil.	München 1987
-------------------	----	--------	---------	---------	------------	---------	--------------

ISSN 0016 – 755 X

Gesamtherstellung: Druckerei Frühmorgen & Holzmann GmbH & Co.  
Schwindstraße 5, 8000 München 40, Telefon (0 89) 52 60 81-82

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
ZIEGLER, J. H.: Vorwort . . . . .	5
WALDNER, W. F.: Die wirtschaftliche Bedeutung des Bergbaus in Bayern . . . . .	7 – 10
HADAMITZKY, E.: Staatliche Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffgewinnung und der Lagerstättenstandorte in Bayern . . . . .	11 – 14
GUDDEN, H.: Prospektion in Bayern . . . . .	15 – 23
GUDDEN, H.: Eisenerz . . . . .	25 – 36
LAGALLY, U.: Uranerz . . . . .	37 – 45
EXLER, H. J.: Salz und Sole . . . . .	47 – 63
EXLER, H. J.: Erdöl, Erdgas und Bitumen . . . . .	65 – 78
WEINELT, WI.: Graphit . . . . .	79 – 93
VIERNSTEIN, M.: Flußspat . . . . .	95 – 100
DOBNER, A.: Kaolin . . . . .	101 – 114
DOBNER, A.: Feldspat . . . . .	115 – 119
DOBNER, A.: Spezialton . . . . .	121 – 134
WEINIG, H.: Bentonit (Bleicherde) . . . . .	135 – 142
WEINELT, WI.: Quarz . . . . .	143 – 151
STREIT, R.: Neuburger Kieselerde (Kieselkreide) . . . . .	153 – 158
LAGALLY, U.: Spezialquarz und Quarzsande . . . . .	159 – 167
WEINELT, WI.: Speckstein und Talk . . . . .	169 – 177
WEINIG, H.: Gips und Anhydrit . . . . .	179 – 191
WEINIG, H.: Dachschiefer . . . . .	193 – 198
STREIT, R.: Farberden . . . . .	199 – 202
WEINIG, H.: Traß . . . . .	203 – 207

## Verzeichnis der Beilagen

WEINELT (Beitrag Graphit): Längsschnittriß durch die Graphitlagerstätte Kropfmühl mit den geologischen Hauptstrukturen.

WEINELT (Beitrag Quarz): Geologische Karte des mittleren Bayerischen Pfahls, nach HOFMANN (1962). – Aus BÜLTEMANN & HOFMANN (1986: Abb. 1).

---

Anschriften der Verfasser: Präs. Dr. WOLFGANG F. WALDNER, Bayerisches Oberbergamt, Leonrodstr. 54/II, D-8000 München 19; Dr. EMIL HADAMITZKY, Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr, Prinzregentenstr. 28, D-8000 München 22; Dr. ALBERT DOBNER, Dr. HANS JOACHIM EXLER, Dr. HELMUT GUDDEN, Dr. ULRICH LAGALLY, Dr. REINHARD STREIT, Dr. MARGRET VIERNSTEIN, Dr. WINFRIED WEINELT, Dr. HERMANN WEINIG u. Präs. Dr. JOSEPH H. ZIEGLER, Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstr. 128, D-8000 München 40.



## Vorwort

Der traditionsreiche Bergbau in Bayern wird 1987 durch die Schließung der Flusßpatgruben im Revier Nabburg und durch das Ende des Eisenerzabbaus auf der Grube Leonie in Auerbach erheblich reduziert, so daß es sinnvoll erschien, noch einmal Qualität und Quantität dieses einst blühenden Wirtschaftszweiges für das Jahr 1986 festzuhalten und zu dokumentieren.

### Die Akzente des bayerischen Bergbaus

- Salzgewinnung im alpinen Berchtesgadener Raum
  - Erdöl und Erdgasförderung zwischen Alpenrand und Donau
  - die Gewinnung von Metallen und Nichteisenerzen in NE-Bayern
- resultieren aus erdgeschichtlichen Prozessen.

Schon frühzeitig fanden die Lagerstätten in der Oberpfalz und im Bayerischen Wald Beachtung, boten sie doch in ihrer Vielfalt dem mittelalterlichen Bergmann und später dem „Geognosten“ ein unüberbietbares Ausgangsmaterial, um über die Entstehung dieser mineralischen Rohstoffvorkommen nachzudenken. Die zunächst kontrastierenden Lehrmeinungen wurden bis heute fortentwickelt und werden erneut 1987 aufgegriffen durch den Versuch, die lagerstättenbildenden Prozesse im Rahmen des Forschungsprogrammes „Kontinentale Tiefbohrung“ bei Windischeschenbach in der Oberpfalz anhand von Gesteinseinschlüssen – Fluiden und Gasen – intensiv zu studieren.

Natürlich stand im Vordergrund des Interesses für den Bergbau stets der Auftrag, eine ausreichende Rohstoffversorgung für die einheimischen Wirtschaftsbetriebe sicherzustellen. Das Auf und Nieder in den letzten Jahrhunderen spiegelt unverkennbar die wechselvolle Entwicklung des Wirtschaftsaufkommens und des sich ständig ändernden Güterbedarfs in Bayern wider, wobei sich die Schlüsselfunktion des Bergbaus zwischen Urproduktion und Industrie deutlich abzeichnet.

Hinzuweisen bleibt noch auf die vielfältige Verknüpfung des Bergbaus mit dem gesellschaftlichen und kulturellen, nicht selten kulturprägenden Gegebenheiten seines regionalen Umfeldes. So fand die bergbauliche Arbeits- und Lebenswelt nicht nur in der Darstellung der bildenden Künste adäquate Beachtung, sie leistete auch nach Wesensart und Formkraft einen wesentlichen Beitrag zur Kulturgeschichte im jeweiligen Revier.

Die Autoren machten es sich zur Aufgabe, den Bergbau 1986 in Bayern vorzustellen. Neben geologischen und lagerstättenkundlichen Beschreibungen sollten auch Hinweise zur Produktion und zur Bergtechnik die gebotene Information vervollständigen. Bei der Fülle interessanter und interessierender Einzelheiten mußte man sich auf das Wesentliche beschränken. Allen, die zum Gelingen dieser Monographie beigetragen haben, darf an dieser Stelle sehr herzlich gedankt werden.

DR. JOSEPH H. ZIEGLER  
Präsident



# Die wirtschaftliche Bedeutung des Bergbaus in Bayern

Von WOLFGANG F. WALDNER

Seit die Menschheit damit begonnen hat, sich differenzierterer wirtschaftlicher Betätigung zuzuwenden, haben das Vorhandensein und die Nutzung von Bodenschätzen die Erschließung und Entwicklung des Landes entscheidend beeinflußt.

Dies führte im einzelnen oft zur verkehrsmäßigen Erschließung und Besiedlung auch abgelegener und unwirtlicher Gebiete, die wenig anderweitige Lebens- und Erwerbsmöglichkeiten boten. Im Sog des Bergbaus erfolgte häufig die Ansiedlung von Gewerbe- und Industriezweigen zur Weiterverarbeitung der Rohstoffe und von Betrieben zur Versorgung der Bevölkerung und Wirtschaft mit allen notwendigen Gütern und Hilfsstoffen, so daß schließlich ganze Industriereviere wie in der Oberpfalz und im Ruhrgebiet entstanden.

Die Aufsuchung und Gewinnung derjenigen Rohstoffe, die nach den gesetzlichen Bestimmung heute der bergbehördlichen Aufsicht unterliegen – also der Bergbau – haben die Entwicklung Bayerns zu einem modernen Industriestaat mitentscheidend beeinflußt.

So prägten der Jahrhunderte alte Salzbergbau und das Salinenwesen bestimmt die Entwicklung der Orte Berchtesgaden, Reichenhall, Traunstein und Rosenheim, und der lebhafte Salzhandel führte zur Anlage zahlreicher Salzstraßen, die die Verkehrserschließung Bayerns nachhaltig förderten. Schließlich hat auch München, an einem der wenigen mittelalterlichen Übergänge über die Isar gegründet, seine Entstehung dem Salzhandel zu verdanken.

Dem bis auf das Ende des 16. Jahrhunderts nachweisbaren Pechkohlebergbau, hauptsächlich von Hausham, Penzberg, Marienstein, Peißenberg und Peiting, verdanken die Orte Hausham, Penzberg und Peißenberg mit Eintritt in das Industriezeitalter ihren Bahnanschluß und damit einzelne Gebiete des Alpenvorlandes ihre Anbindung an das Eisenbahnnetz. Der Pechkohlebergbau wies bis zu 8000 Beschäftigte auf und stellte bis Ende der 60er Jahre den bedeutendsten Bergbauzweig Bayerns dar. Er bestritt zunächst hauptsächlich die Energieversorgung der Industrien von Augsburg und München und trug noch nach dem 2. Weltkrieg in beachtlichem Umfang zur bayerischen Energieversorgung bei.

Oberflächennahe Braunkohlevorkommen, die bei Schwandorf in der mittleren Oberpfalz bis zum Jahr 1982 in Großtagebauen abgebaut wurden, hatten große energiewirtschaftliche Bedeutung. Sie deckten mittels eines 705-MW-Kraftwerks bis zu 15% des elektrischen Energiebedarfs Bayerns. Weiterhin verdankt ein bedeutendes Werk der Aluminiumindustrie infolge der einst kosten-

günstigen Dampferzeugung auf der Grundlage oberpfälzischer Braunkohle seinen Standort in Schwandorf.

Erdöl und Erdgas werden in Bayern erst seit Ende des 2. Weltkriegs in größerem Umfang planmäßig aufgesucht und gewonnen. Seitdem wurden in den Gebieten um Memmingen, Schwabmünchen, Dachau, Holzkirchen, Mühldorf, Rosenheim und im Chiemseegebiet eine Reihe von Lagerstätten erschlossen, die in Teufen von 1500 bis 4000 Metern liegen. Die Erdölförderung ist zwar – gemessen am Gesamtenergieverbrauch Bayerns – äußerst gering, aber auch sie hilft mit, Devisen zu sparen. Die Gewinnung von Erdgas erreichte 1973 ihren Höhepunkt und trug bis in die 70er Jahre wesentlich zur Erdgasversorgung Südbayerns bei. Auf sie ist die Umstellung der bayerischen Gasversorgung auf Erdgas zurückzuführen, das heute durch ein dichtes Leitungsnetz dargeboten wird.

Mit dem zunehmenden Interesse, das das Uran für die Energiewirtschaft gewann, begann auch in Bayern seit 1950 die Prospektion auf Uranerze, die praktisch das gesamte Staatsgebiet mit Ausnahme der Gebiete südlich der Donau umfaßte. Das größte bisher in Bayern entdeckte Vorkommen im Fichtelgebirge zählt zwar im Weltmaßstab nur zu den Kleinvorkommen, doch ist es bis zu einer Teufe von 200 m soweit erschlossen, daß damit gerechnet werden kann, daß dort mit Beginn der 90er Jahre ein planmäßiger Abbau eingeleitet und eine entsprechende Aufbereitung betrieben wird.

Die Gewinnung und Verhüttung von Eisenerzen, die in Bayern bis in vorchristliche Zeit u. a. in Kelheim nachweisbar sind, standen im Mittelalter vor allem in den Räumen Amberg, Sulzbach-Rosenberg und im Fichtelgebirge, aber auch in anderen Regionen, z. B. in Sonthofen, in hoher Blüte. Bis in die Zeit nach dem 2. Weltkrieg konnten sich allerdings nur noch die Gewinnungsbetriebe in Amberg, Sulzbach-Rosenberg, Auerbach und Pegnitz halten. Mit Beginn der 60er Jahre führte dann das Aufkommen hochwertiger Billigerze auf dem Weltmarkt, teilweise gepaart mit der Erschöpfung heimischer Lagerstätten, zum Niedergang auch des Oberpfälzer Eisenerzbergbaus. Heute befindet sich die letzte Schachtanlage Deutschlands in Auerbach im Stadium der Schließung. Damit dürfte auch der Eisenerzbergbau in Bayern, der einst die bedeutendste Stahlindustrie im süddeutschen Raum mit Erzen belieferte, ein vorläufiges Ende finden.

In früheren Jahrhunderten wurden vornehmlich im Fichtelgebirge und im Frankenwald, aber auch u. a. im Spessart, NE-Metalle aus Gold-, Silber-, Kupfer-, Blei-, Zink- und Zinnerzen gewonnen. Aus Goldkronacher Erz wurden z. B. um 1860 die letzten bayerischen Golddukaten geprägt. Nach dem Abbau der oberflächennahen Reicherzonen kamen die einzelnen Bergbauzweige meist im 19. Jahrhundert fast überall zum Erliegen. Der Schwefelkiesbergbau bei Waldsassen mußte im Jahr 1971 wegen der Konkurrenz der Schwefelgewinnung bei der Erdgasförderung im norddeutschen Raum eingestellt werden. Nach Einstellung des Magnetkiesabbaus bei Bodenmais im Jahr 1962 wurde das dortige Bergwerk zu einem Besucherbergwerk ausgebaut und somit für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Graphit, ein unentbehrlicher Rohstoff für eine große Anzahl von Industriegerzeugnissen und industriellen Verfahren, insbesondere für hochfeuerfeste

Keramik, Elektroden, Trockenbatterien, hochtemperaturbeständige Schmiermittel, Bleistifte und u. a. für Brennelemente bei Hochtemperaturreaktoren, wird in Kropfmühl bei Passau abgebaut, aufbereitet und in alle Welt exportiert. Das bayerische Graphitbergwerk stellt das einzige seiner Art im EG-Raum dar und versorgt zusammen mit aus importierten Graphitkonzentraten aufbereitetem Graphit die Bundesrepublik zu ca. 75%. Mit dieser Produktion werden beachtliche 15% des Weltbedarfs gedeckt.

Eine herausragende Bedeutung hat auch der Kaolin, der in erster Linie in der Oberpfalz gewonnen wird. 40% des bundesdeutschen Kaolinbedarfs stammen aus inländischer Förderung, davon kommen wiederum 70% aus Bayern. Kaolin wird hauptsächlich als Zusatzmittel bei der Papierherstellung und in der keramischen Industrie verwendet. Die Oberpfälzer Kaolinindustrie ist mit ihren Aufbereitungen in der Lage, z. B. den gesamten deutschen Markt an Porzellanfertigmassen in Granulatform zu mehr als 100% zu decken. Die nicht in Deutschland abgesetzten Massen werden u. a. nach Frankreich, Skandinavien, dem Iran und Mexiko exportiert.

Untrennbar verbunden mit dem Kaolinbergbau ist in Bayern der Bergbau auf Feldspat, der hauptsächlich bei der Kaolinaufbereitung als Nebenprodukt anfällt. Die bayerische Feldspatproduktion deckt etwa die Hälfte des Bedarfs der Bundesrepublik, wo Feldspat hauptsächlich für Glasuren und zur Herstellung keramischer Massen, daneben aber auch für zahlreiche andere Zwecke, z. B. zur Schleifmittelherstellung, Verwendung findet. Die ausgedehnten Lagerstätten von Kaolin und Pegmatitsand, einem feldspatreichen Quarzsand, der im Raum westlich von Weiden und in Oberfranken in mehreren Betrieben abgebaut wird, sind für den Feldspatbergbau in Bayern die Basis einer gesicherten Zukunft.

Die Grundlage einer vielseitigen keramischen Industrie mit der Fertigung von Steinzeug, Steingut und keramischen Platten bilden die zahlreichen Vorkommen von Spezialtonen. Lagerstätten dieser Tone sind in Bayern weit verbreitet, vornehmlich in der Gegend um Coburg und Mitterteich, südlich des Bayerischen Waldes und vor allen Dingen im größten zusammenhängenden Areal zwischen Schwarzenfeld und Regensburg. Die bayerische Tonproduktion versorgt nicht nur die umliegenden Betriebe, sondern ist auch Lieferant für Abnehmer in der übrigen Bundesrepublik und im benachbarten Ausland wie Österreich, Italien, die Schweiz usw. Fertigprodukte aus Oberpfälzer Tonen gehen in alle Welt, sogar bis nach Hongkong. Eine besondere Spezialität stellt der Klingenerger Spezialton dar, der wegen seines Kornaufbaues in der Bleistiftindustrie fast der ganzen Welt zum Einsatz gelangt.

Die einzigen in der Bundesrepublik in Abbau befindlichen Vorkommen an Bentonit liegen in Bayern, und zwar im Gebiet zwischen Mainburg, Landshut und Moosburg sowie bei Landau in Niederbayern. Bentonite werden wegen ihres Quell- und Bindevermögens und ihrer Adsorptionsfähigkeit u. a. zum Reinigen von Ölen, Fetten und Wachsen, als Katalysatoren, als Formsandbinder und als Abdichtungsmittel in der Bauindustrie verwendet.

Ein von der Förderhöhe bedeutender Bergbauzweig ist die Gewinnung von Quarz und Quarzsand. Reinsten kristallinen Quarz findet man in den

Quarzgängen des ostbayerischen Grundgebirges, insbesondere am Pfahl zwischen Viechtach und Regen. Spezialquarzsande werden im Raum Amberg bei Vilseck und im Spessart gewonnen. Etwa die Hälfte der bayerischen Produktion an hochwertigen Quarzen fällt jedoch als Nebenprodukt bei der Kaolinaufbereitung an. Die Gewinnung von Quarz war standortbildender Faktor für die Glasindustrie in Ostbayern. Die hochreinen Quarze vom Pfahl sind Grundlage für die Herstellung von Ferrosilizium und anderen hochwertigen chemischen Produkten im bayerischen Chemiedreieck zwischen Salzach und Inn.

Naturgips und Anhydrit aus bayerischer Förderung werden zu etwa 40% in der Zementindustrie als Abbindeverzögerer, zu weiteren 40% in der eigentlichen Gipsindustrie als Bauspezialgips und zu rd. 15% im Steinkohlebergbau zur Herstellung von Streckenbegleitdämmen verwendet. Die in Mittelfranken und Unterfranken in einem Streifen von Rothenburg ob der Tauber über Bad Windsheim und Iphofen bis nach Bad Königshofen und in einem Gebiet östlich von Bayreuth und Kronach liegenden Vorkommen tragen mit ca. 60% zur deutschen Gips- und Anhydritproduktion bei.

Der bayerische Flußspatbergbau, der in der mittleren Oberpfalz seinen Schwerpunkt hat und dort auch bis in die Zeit um 1470 nachweisbar ist, hatte seine größte Blüte in den 50er Jahren dieses Jahrhunderts, als zeitweise ca. 10% der gesamten Weltförderung aus der Oberpfalz stammte. Die Grube Cäcilia bei Freyung war damals die größte Flußspatgrube der Welt. Der bayerische Anteil an der deutschen Flußspatförderung ist in den letzten Jahren auf rd. 13% gefallen und wird nach Schließung der z. Z. größten Grube bei Lissenthal in diesem Jahr voraussichtlich keinen größeren Beitrag zur deutschen Flußspatversorgung mehr leisten.

Von den sonstigen Rohstoffen sind neben der Gewinnung von Dachschiefer in einem untertägigen Betrieb in Oberfranken der Abbau von Kieselerde bei Neuburg an der Donau, wo feinmehlige weiße Mineralgemenge aus Quarz und Kaolinit, die einen begehrten Füllstoff für die Farben- und Lackindustrie darstellen und u. a. als Bestandteil von Putz- und Schleifmitteln gefragt sind, anstehen, sowie zwei Talkchieferfertagebaue bei Erbendorf und ein größeres Specksteinbergwerk bei Wunsiedel zu nennen. Die Specksteingrube ist die einzige ihrer Art in Deutschland. Der Rohstoff weist eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit auf und wird hauptsächlich zur Herstellung von elektrokeramischen Isolatoren und Niederspannungsteilen verwendet.

Diese Übersicht verdeutlicht, daß sich die bergbaulichen Tätigkeiten in Bayern im Laufe der Zeit immer mehr vom klassischen Bergbau, wie dem auf Gold-, Kupfer- und Eisenerze sowie auf Braun- und Pechkohle, entfernt und den „modernen“ Industriemineralen wie Kaolin, Spezialquarz, Gips und Anhydrit zugewandt haben. Wenn auch aufgrund der derzeitigen Rohstoffpreise auf dem Weltmarkt und zum Teil wegen der Erschöpfung von Lagerstätten der eine oder andere Betrieb oder Betriebszweig stillgelegt werden mußte, eröffnen sich immer wieder neue bergbauliche Perspektiven, vor allem wenn die „intelligenten“ Möglichkeiten moderner Aufbereitung genutzt werden.

# **Staatliche Maßnahmen zur Sicherung der Rohstoffgewinnung und der Lagerstättenstandorte in Bayern**

**VON EMIL HADAMITZKY**

Mit staatlichen Maßnahmen ist primär die Politik angesprochen, im vorliegenden Fall die Rohstoffpolitik. Rohstoffpolitik ist ein Teil der Wirtschaftspolitik. Entsprechend unserer Wirtschaftsordnung besteht auch bei der Rohstoffgewinnung und Rohstoffversorgung der Primat der Entscheidungen und der Einzelmaßnahmen bei der Wirtschaft und dem jeweiligen Unternehmer. Der Staat, d. h. die Politik hat sich auch im Bergbau darauf zu beschränken, durch Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen die Voraussetzungen für eine erfolgreiche unternehmerische Tätigkeit zu sichern. Dies bedeutet aber auch, daß der Staat dort im Einzelfall helfend und unterstützend tätig werden muß, wo die betriebswirtschaftlichen Gegebenheiten und die unternehmerischen Möglichkeiten nicht ausreichen, um gesamtwirtschaftlich notwendige oder wünschenswerte Entwicklungen zu erreichen oder Schwierigkeiten zu lösen.

Der Umfang der Rohstoffpolitik wird daher auch vom Umfang der Schwierigkeiten und vom notwendigen Handlungsbedarf abhängen. Eine weitere Voraussetzung für staatliche Aktivitäten wird die gesamtwirtschaftliche Bedeutung des Vorhabens oder des Problems sein. Bei der gegebenen Situation der deutschen Rohstoffversorgung hat sich die Rohstoffpolitik zu befassen

- mit dem Bezug der Rohstoffe aus dem Ausland und
- dem inländischen Bergbau.

Entsprechend der Zuständigkeiten eines Landes sind hier primär die rohstoffpolitischen Gegebenheiten Bayerns zu behandeln. Die Staatsregierung hat der Rohstoffpolitik schon seit jeher Bedeutung beigemessen. So ist u. a. vor einigen Jahren ein Rohstoffprogramm erstellt worden. Es werden darin nach einer Bestandsaufnahme der bekannten Rohstofflagerstätten und ihrer Gewinnung die geologischen Möglichkeiten für weitere bisher unbekannte Rohstoffvorräte untersucht. Weiterhin wird dargelegt, welche wirtschaftliche Bedeutung der heimischen Rohstoffgewinnung zukommt und welche privaten und staatlichen Maßnahmen notwendig sind, um den Bergbau zu sichern und weiter zu entwickeln. Mit dem Programm soll auch eine breitere Öffentlichkeit und deren Entscheidungsträger über einen wichtigen Wirtschaftszweig und seine Grundlagen unterrichtet werden.

Wie ist nun die Situation des bayerischen Bergbaus zu beurteilen?

Es werden zwar keine metallischen Rohstoffe mehr gewonnen, die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der nichtmetallischen Minerale Bayerns ist aber nicht viel geringer einzuschätzen. Kaolin, feuerfester Ton, Bentonit, Feldspat, Quarz, Gips, Kieselerde, Speckstein sowie Graphit und Salz sind wichtige Rohstoffe der

weiterverarbeitenden Industrie. Sie sind in zahlreichen Produktionsverfahren auch als Zusatz-, Begleit- und Wirkstoff unentbehrlich. Hier nehmen sie vielfach eine Schlüsselfunktion ein. Die Bergbaubetriebe haben in Bayern darüber hinaus eine strukturpolitische Bedeutung. Sie besitzen an ihren Standorten einen wesentlichen Anteil an der regionalen Wirtschaftsstruktur mit einem beachtlichen Arbeitsplatzangebot. Die Rohstoffgewinnung hat auch heute noch eine standortbildende Funktion für die weiterverarbeitende Industrie, insbesondere für die Keramik- und Glasindustrie sowie die Gipserzeugung.

Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung des bayerischen Bergbaus und seiner Betriebe steht daher außer Zweifel. Die Staatsregierung hat dieser gesamtwirtschaftlichen Bedeutung des Bergbaus auch durch entsprechende Zielfestlegungen im Landesentwicklungsprogramm Bayern Rechnung getragen:

„Die Nutzung der Bodenschätze soll zur Sicherung der Rohstoffversorgung gewährleistet werden. Auf die Erschließung der Lagerstätten soll hingewirkt, die Gewinnung soll ermöglicht und ihre Aufsuchung soll, soweit erforderlich, gefördert werden.“

Ein Schwerpunkt der direkten rohstoffpolitischen Maßnahmen liegt in der Förderung der Aufsuchung neuer und der Erweiterung bestehender Lagerstätten. Die Explorationsförderung hat in Bayern bereits eine lange Tradition, die bis ins vorige Jahrhundert zurückreicht. In den 50er Jahren dieses Jahrhunderts bestand hierfür sogar eine besondere Gesellschaft, die Gesellschaft zur Aufsuchung von Bodenschätzen in Bayern. Es sind in den vergangenen Jahren eine Reihe von Vorhaben gefördert worden. Hierbei waren nahezu alle Minerale in Bayern umfaßt. Neben der Erweiterung bestehender Vorräte in bekannten Lagerstätten sind auch neue Lagerstätten erschlossen oder nachgewiesen worden. Diese Förderung wird in Form von Risikodarlehen gewährt, in der Regel in Höhe von 50% der Aufwendungen. Wenn die zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel auch knapp sind, konnte damit doch die Vorratshöhe der Bergbaubetriebe zum Teil beachtlich erweitert werden.

Darüber hinaus hat das Bundesministerium für Wirtschaft Fördermittel für die Prospektion und Exploration in Bayern zur Verfügung gestellt. Dies betraf vor allem Vorhaben mit einem hohen Mittelaufwand unter mehr langfristigen Aspekten, wie die Prospektion von Uran und NE-Metallerzen in Nordbayern.

Das Geologische Landesamt führt außerdem seit einigen Jahren im Vorfeld der wirtschaftlichen Tätigkeit mit Mitteln des Staatsministeriums für Wirtschaft und Verkehr in geologisch häufigen Gebieten konkrete Einzeluntersuchungen nach Lagerstätten durch. Durch die Grundlagenuntersuchungen sind weitere Erkenntnisse über neue Lagerstätten erzielt und einzelne neue Lagerstätten entdeckt worden.

Ein weiteres Problem, das eine Beschränkung der Rohstoffgewinnung mit sich bringen kann und in irgendeiner Form nahezu jeden Bergbaubetrieb berührt, ist das Zusammentreffen mit anderen raumbeanspruchenden Maßnahmen, die Lagerstätten in der Regel für immer blockieren können. Da der Rohstoffgewinnung vielfach Maßnahmen mit öffentlichem Interesse entgegenstehen und die Gefahr besteht, daß ihr als privatwirtschaftlicher Tätigkeit ein minderer

Rang eingeräumt wird, ist es notwendig, eine Sicherung der Lagerstätten zu treffen.

Das Thema „Begrenzung des Rohstoffabbaus“ und „die Sicherung der Lagerstättenstandorte“ ist seit Jahren aktuell. Es ist in der Vergangenheit in Bergbaukreisen intensiv darüber diskutiert worden, wobei vielfach im Hinblick auf die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Rohstoffgewinnung eine gesetzliche Regelung gefordert wurde.

Es ist selbstverständlich, daß die Sicherung der Lagerstätten in einer verbindlichen Form erfolgen muß. Eine gesetzliche Fixierung auch für den Einzelfall dürfte jedoch nicht realisierbar sein. Angesichts der Rohstoffproblematik in der Bundesrepublik könnte man zwar in verschiedenen Fällen der Rohstoffgewinnung generell eine Priorität einräumen, die Entscheidung hierüber wird jedoch letztlich in jedem Einzelfall in Abhängigkeit von der konkreten Ausbildung der Lagerstätte und den gegebenen rohstoff- und gesamtwirtschaftlichen Erfordernissen zu treffen sein.

In Bayern hat sich die Auffassung durchgesetzt, daß eine verbindliche und effektive Sicherung der Lagerstätten am ehesten im Rahmen der Raumordnung und der Landesplanung zu erreichen ist. Wesentlich ist es, daß eine einseitige Festlegung, z. B. von Seiten der Rohstoffwirtschaft nicht möglich ist und im Einzelfall eine Abwägung aller Belange unter Einbeziehung aller Interessenten notwendig ist. Es ist daher bereits 1976 im Landesentwicklungsprogramm Bayern, das in Form einer Verordnung erlassen wurde, ein flexibles, gleichzeitig verbindliches Verfahren gewählt worden. Auf der Grundlage von verbindlichen Zielen über die Erschließung und Gewinnung heimischer Bodenschätze wird jede Lagerstätte im jeweiligen Regionalplan mit einer entsprechenden Bewertung ausgewiesen.

In Vorranggebieten hat der Bergbau absoluten Vorrang vor allen anderen Belangen. In der Regel ist hier für den Abbau kein Raumordnungsverfahren notwendig. Bei Vorbehaltsgebieten wird zwar festgestellt, daß die Gewinnung dieser Lagerstätten von grundsätzlich volkswirtschaftlicher Bedeutung ist, für den konkreten Abbau ist jedoch noch eine Abwägung mit konkurrierenden Vorhaben im Rahmen eines Raumordnungsverfahrens erforderlich.

Die Aufstellung der Regionalpläne ist weitgehend abgeschlossen, einzelne Regionalpläne sind bereits für verbindlich erklärt worden. Wie sieht nun die Bilanz für die Rohstoffsicherung aus? Insgesamt konnte landesweit eine weitgehende Sicherung der gesamtwirtschaftlich bedeutenden Lagerstätten erreicht werden. Die wichtigen Lagerstätten sind als Vorranggebiete ausgewiesen. Bei den übrigen konnte im Rahmen der Vorbehaltsgebiete letztlich eine zufriedenstellende Sicherung der Bergbaurohstoffe erreicht werden. Beim derzeitigen Stand ist in keinem anderen Land der Bundesrepublik Deutschland die Rohstoffsicherung für die konkreten Einzellagerstätten so weit gediehen wie in Bayern. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, daß eine Anpassungspflicht der Bau- leitplanung an die Regionalpläne besteht, so daß die Vorranggebiete auch in die Bauleitpläne aufgenommen werden müssen.

Um der gesamtwirtschaftlichen Bedeutung der Rohstoffgewinnung und dem öffentlichen Interesse daran Rechnung zu tragen, wird schon seit Jahren eine entsprechende gesetzliche grundsätzliche Verankerung der Rohstoffgewinnung in der Raumordnung und Landesplanung verfolgt. In dem am 4. 1. 1982 novellierten Bayerischen Landesplanungsgesetz sind die Grundsätze für die Landesplanung um folgenden Grundsatz ergänzt worden:

„Bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen ist darauf hinzuwirken, daß ... den Erfordernissen der Aufsuchung und Gewinnung heimischer Rohstoffvorkommen Rechnung getragen wird.“

Im Rahmen der Gesetzesänderung vom 19. 12. 1986 ist es gelungen, auch im Raumordnungsgesetz des Bundes einen entsprechenden Grundsatz aufzunehmen:

„Den Erfordernissen der vorsorgenden Sicherung sowie geordneten Aufsuchung und Gewinnung von Rohstoffvorkommen soll Rechnung getragen werden.“

Neben den spezifischen rohstoffwirtschaftlichen Maßnahmen bestehen die generellen flankierenden und unterstützenden Hilfen im Bereich der regionalen Wirtschaftsförderung, der Forschungsförderung und der Frachthilfe auch für den Bergbau. Dies ist schon deswegen nicht ohne Bedeutung, da an die in der Regel mittelständisch strukturierten Bergbaubetriebe mit vielfach marktfernen Standorten besondere finanzielle und wirtschaftliche Anforderungen gestellt werden, um die Verfahren weiter zu entwickeln und die Produkte marktfähig zu gestalten und damit insgesamt wettbewerbsfähig zu bleiben.

Die Rahmenbedingungen der Rohstoffgewinnung werden neben der generellen wirtschaftlichen Entwicklung durch staatliche Maßnahmen des Umweltschutzes, insbesondere im Bereich des Natur- und Landschafts- sowie Bodenschutzes mit beeinflußt. Die hier aus staatlicher Sicht notwendige Weiterentwicklung wird die gesamtwirtschaftlichen Erfordernisse der Rohstoffversorgung berücksichtigen müssen. Bei der Abwägung unterschiedlicher Belange spielt die absolute Standortgebundenheit der Lagerstätte eine wichtige Rolle.

## Prospektion in Bayern

Von HELMUT GUDDEN

Mit 1 Tabelle

Die Fläche des heutigen Bayern ist – wie ganz Mitteleuropa – reich an Vorkommen von verschiedenartigen mineralischen Rohstoffen, welche seit alter Zeit immer wieder Anlaß geboten haben, danach zu suchen, um sie zu gewinnen und wirtschaftlichen Nutzen daraus zu ziehen.

Da die meisten dieser Vorkommen früherem Abbau zum Opfer gefallen sind, kann man davon ausgehen, daß sie jeweils zu ihrer Zeit durchaus der heutigen Begriffsbestimmung des Wortes „Lagerstätte“ entsprochen haben. D. h., sie waren damals mit wirtschaftlichem Nutzen gewinnbar und bildeten mit die Grundlage der technischen und zivilisatorischen Entwicklung dieser Weltgegend, in welcher eine „Prospektion“ seit rund 1000 Jahren eigentlich nie aufgehört und davor schon einmal während der Keltenzeit stattgefunden hat.

In den letzten 130 Jahren, seit dem durch den Eisenbahnbau und die Industrialisierung entfachten Wieder-Aufblühen der eisenschaffenden Industrie, lassen sich sehr wohl gewisse Zyklen oder Rhythmen der Prospektionsaktivitäten erkennen, die auf unterschiedlichsten Konjunkturparametern zu basieren scheinen.

Im folgenden sei nur der vorläufig letzte jener Zyklen betrachtet. Er begann 1974 und war von dem – übrigens von keinem „Zukunftsrecher“ (z. B. KAHN, FUX, JUNGK) vorausgesehenen – „1. Ölschock“ und dem daraus erwachsenen neuen „Rohstoffbewußtsein“ initiiert.

Die damals verstärkt einsetzende Prospektion und Exploration auf Energierohstoffe (Kohlenwasserstoffe und Uran) zog alsbald auch eine Prospektion auf Gold und Wertmetalle sowie auf Nicht-Metalle nach sich und ließ auch die Intensität der Suche nach oberflächennahen Massenrohstoffen und Erdwärme aufleben. In den Jahren vor dem Inkrafttreten des neuen Bundesberggesetzes am 1. 1. 1982 mag noch besonderer Eifer hinzugekommen sein durch das Bestreben mancher Interessenten, sich evtl. Berggerechtsame noch nach altem Bayerischen Berggesetz vom 13. 8. 1910 zu sichern in Form von Bergwerkseigentum. Doch ist auf die bergrechtliche Seite der Rohstoffsuche hier nur insoweit einzugehen, als die bergrechtliche Stellung der einzelnen Rohstoffe oder „Bodenschätze“ als eines der Gliederungskriterien für eine übersichtliche Darstellung dienen kann.

Versucht man nämlich die sehr unterschiedlichen Prospektions-Aktivitäten in Tabellen-Form zu pressen, so bieten sich neben dem chronologischen Ablauf, der nur wenig besagt, vor allem folgende Kriterien an:

– Rohstoffe bzw. Rohstoffgruppen („Bodenschätze“)

- Bergrechtliche Stellung und davon abhängig z. B. freie Suche oder Aufsuchungserlaubnis
- Firmen oder Gesellschaften
- Geologische Einheiten
- Prospektionsmethoden
- „Wirtschaftliche Ergebnisse“

(Auch könnte man noch gliedern nach Bergamtsbezirken oder sonstigen Verwaltungsdistrikten, nach Personaleinsatz oder Geldaufwand, nach Zeitdauer u. a.).

Doch alle diese Kriterien unterscheiden die Arbeiten der letzten 12 Jahre eigentlich nicht von Kampagnen früherer Zeit. Was aber ab 1973/74 der Prospektion in Bayern – abgesehen von der Kohlenwasserstoffprospektion und -exploration – einen gegenüber früher etwas „modernerem“ Impetus gegeben hat, war die Teilnahme einiger multinationaler Großgesellschaften, z. T. mit ausgezeichnet geschultem und weltweit erfahrenem Personal sowie der z. T. – vergleichsweise – massive Mitteleinsatz. Aber es war auch die gut gezielte und gesteuerte und vor allem besser zur Steuerung genützte Förderung durch Bund (BMWi, BMFT), Land (BayStMWV) und durch die Europäische Gemeinschaft.

Die Tabelle 1 zeigt die in Bayern überhaupt „in Frage kommenden“ mineralischen Rohstoffe, ihre bergrechtliche Stellung vor und nach dem Inkrafttreten des Bundesberggesetzes am 1. 1. 1982 sowie die anderen eben genannten Gliederungsmöglichkeiten. Nur auf einen der hier genannten Rohstoffe (inclusive Erdwärme) ist in den letzten Jahren nicht prospektiert worden: Eisen.

Allen anderen hat ein, allerdings nach Intensität, Dauer, Aufwand und „Erfolg“ recht unterschiedlich zu bewertendes Aufsuchungsbemühen gegolten, z. T. während des ganzen Zeitraumes (Uran, Kohlenwasserstoffe, Sand, Kies), z. T. nur vorübergehend (z. B. Braunkohle, Aluminiumerz u. a.).

Die Tabelle bietet Einblick in die Vielfalt der von zahlreichen Gesellschaften, Firmen und Institutionen getragenen Prospektionsaktivitäten. Den geologischen Gegebenheiten und den Eigenschaften des gesuchten Stoffes entsprechend wurden unterschiedliche Methoden angewendet. Die Aufwendungen je Prospektionsziel lagen je nach Kapitalkraft der Interessenten extrem weit auseinander: zwischen etlichen Tausend D-Mark, etwa für die Suche nach irgendeinem speziellen Baustein oder für die Bestätigung eines Sandvorkommens, bis zu vielen Millionen D-Mark für die Suche nach wirtschaftlich gewinnbaren Energie-Rohstoffen Erdöl, Erdgas, Uran.

Während die Spalten 1–5 der Tabelle kaum der Kommentierung bedürfen, könnten die eine oder die andere der Angaben in den Spalten 6–9 Anlaß zur Diskussion bieten. So ist in Spalte 6 bei Erdöl, Erdgas, bei Kupfer, Blei und Gold jeweils eine aus der Zahl der Gesellschaften oder Firmen in Klammern gesetzt. Es handelt sich um Firmen oder Gesellschaften, bei denen die Absicht und die fachliche Qualifikation zur Rohstoffsuche zumindest sehr umstrittbar ist und die hier nur aus formalen Gründen einbezogen sind.

In Spalte 7 ist zu erwähnen, daß sich die Erdöl- und Erdgas-Suche im Molassebecken selbstverständlich auch auf den mesozoischen Untergrund dieses Bek-

kens erstreckt. In allen folgenden Zeilen sind unter D (= Deckgebirge) auch die Ablagerungen der Perm-Zeit (Rotliegendes und Zechstein) zu verstehen.

In Spalte 8 sind unter Ph (= Geophysik) alle eingesetzten geophysikalischen Methoden, unter Ch (= Geochemie) alle chemischen Prospektionsmethoden gemeint, die selbstverständlich je nach Aufgabenstellung überaus verschiedenartig angewendet werden und zu bewerten sind: Bei der Kohlenwasserstoff-Suche (Erdöl, Erdgas) vorwiegend seismische Methoden, bei Erzsuche meist geoelektrische und auf Geomagnetik und Elektromagnetik beruhende Verfahren, beim Uran dazu die Radiometrie, ferner natürlich überall, wo gebohrt wird, die speziellen Anwendungen der Bohrlochgeophysik.

Geochemische Prospektion basiert auf der Analyse großer Probenzahlen aus untereinander möglichst vergleichbarem Substrat (Boden, Bachsediment, Wasser), deren Ergebnisse sich zu den Werten potentieller Ausgangsgesteine in Beziehung setzen lassen. Die Analytik kann sich jeweils nur auf das gesuchte Element bezogen haben, sich mit der Auffindung von „Anomalien“ zufrieden gebend, sie kann aber auch über Multi-Element-Analysen und statistische Auswertung wesentlich weiter gespannte Ziele (u. a. auch für die Erforschung von „Umweltfragen“) verfolgt oder zumindest mitverfolgt haben. Alle Zwischenstufen und Übergänge der sich u. a. im Analysen-Durchsatz ausdrückenden Intensität sind hier subsummiert.

Unter k (= konventionell) sind die seit eh und je üblichen Aufsuchungsmethoden zu verstehen: Archiv-Studien, geologische Geländeuntersuchung, Aufschlußbemusterung, Schurf- und Bohrarbeiten, Probennahme, bergmännischer Aufschluß.

Der Erklärung bedürfen vor allem die Angaben der Spalte 9, welche den „wirtschaftlichen Erfolg“ betreffen. Denn dieser ist nicht in allen Fällen eindeutig und zu Buche schlagend, doch sind manche der Ergebnisse derart, daß man sie nicht als „wirtschaftlich negativ“ bezeichnen kann. Insofern scheinen gewisse Differenzierungen angebracht, etwa beim Uran. Hier hat die Prospektion zur Auffindung einiger Vorkommen im nordostbayerischen Grundgebirge geführt, welche bei Ausnutzung der über längere Perioden zu erwartenden Schwankungen des Weltmarktpreises durchaus „wirtschaftlich“ gewinnbar sein könnten. Die Hinderungen liegen nicht nur oder nicht allein in der derzeitigen Preischwäche (1986), die wohl noch einige Jahre anhalten mag, sondern vielleicht mehr noch in infrastrukturellen Problemen begründet, welche sich aus dem Uran-Bergbau und einer dann notwendigen zentralen Aufbereitung ergeben könnten. Die Länge und Schwierigkeiten der Genehmigungsverfahren bei manchen evtl. vergleichbaren Vorhaben und eine in manchen Kreisen der Bevölkerung dabei zum Ausdruck kommende, auf einseitiger Information (und manchmal Indoktrination) beruhende Voreingenommenheit stehen jeglicher Forcierung entgegen.

Bei Kupfer, Blei und Zinn sind die Ergebnisse zwar nach heute geltenden Maßstäben absolut unwirtschaftlich, doch an einigen Stellen immerhin derart, daß man sie als „Notreserven“ für die Zukunft vorzumerken hat, und gut daran tut, sie durch weitere Prospektion ohne Hast weiterzuentwickeln und abzurun-

Tabelle 1: Prospektion in Bayern 1974–1986

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		3.1 3.2 3.3		5.1 5.2				
Energie- Rohstoffe	Erdöl, Erdgas	• •		•	7(+1) Ges., BGR, GLA	Molassebecken, Alpen	Ph., k	+
	Ölschiefer			•	1 Ges., BGR, GLA	Ries, Jura (Lias e)	k	—
	Braunkohle	• •		•	1 Ges.	Tertiär NÖ-Bayern	k	—
	Uran	• •		•	6 Ges., BGR, GLA	ganz N-Bayern, nördl. d. Donau; dazu kurzfr. Raum Vilshofen u. bay. Allgäu	Ph. (u. a. VLF) Ch., k	+
Metall- Rohstoffe	Eisen	• •		•		—	—	—
	Kupfer	•		•	5(+1) Ges., BGR, GLA	G NO-Bayern, D NW-Bayern	Ph. (u. a. IP), k	— (+)
	Blei	•		•	5(+1) Ges., BGR, GLA	G u. D NO-Bayern	Ch., k	— (+)
	Zink	•		•	5 Ges., BGR, GLA	G u. D NO-Bayern	Ch., k	—
	Zinn	•		•	3 Ges., GLA	G NO-Bayern	Ch., k	— (+)
	Wolfram	•		•	> 3 Ges., BGR, GLA	G NO-Bayern	UV, Ch.	—
	Seltenmetalle		•	•	1 Institut	G NO-Bayern	Ch.	—
	Aluminium	• •	•	•	1Ges., GLA	Tertiär NO-Bayern	Ch., k	(+)
	Gold	• •	Bauxit	Bauxit	3 (+1) Ges., GLA	G NO-Bayern	Ch., k histor.	—
Erdwärme	Erdwärme			•	3 Interessenten, GLA	Molassebecken, D N-Bayern	k	(+)
Nichtmetall- Rohstoffe	Graphit	• •		•	1 Ges., BGR, GLA	G Passauer Wald	Ph (u. a. Flug-), k	++
	Salz und Sole	• •		•	1 Ges., 2 Interess., GLA	Reichenhall, D Nord-Bayern	Hydrogeol.	+
	Flußspat	• •		•	3 Ges., 1 Interess., GLA	G NO-Bayern (D NO-Bayern)	Ch., Ph, k	(+)
	Schwerspat	• •		•	1 Ges., GLA	G u. D Spessart	k	— (+)
	Kaolin	• •		•	3 Ges., GLA	G u. D NO-Bayern	Ph., k	+
	Feldspat, Feldspatsand	• •		•	> 3 Ges., GLA	G u. D NO-Bayern	Ph., Ch., k	— (+)
	Quarz, Quarzsand	• •		•	3 Ges., GLA	G u. D NO-Bayern	k	++
	Spezialtöne	• •		•	mehrere Interess., GLA	D NO-Bayern	k	+
	Bentonit	• •		•	2 Ges., GLA	Molasse	k	+
	Kieselerde	• •		•	1 Ges.	D Raum Neuburg/Donau	k	+
	Speckstein, Talk	• •		•	1 Ges., GLA	G NO-Bayern	k	—
	Gips und Anhydrit	• •		•	4 Ges., GLA	D Franken	k	+

nur soweit untertage

Oberflächen- nahe Massen- rohstoffe	Festgesteine Lockergesteine	generell nicht dem Bergrecht unterliegend, nur z. T. aus alten Rechten oder, wenn untertage gewonnen	viele Interessenten, GLA	überall	Ph., k	+ z. T. legislativ + u. administrativ stark behindert u. a. durch Planungs- hoheit der Gemeinden
---	--------------------------------	---	-----------------------------	---------	--------	--

#### Erklärung der Spalten:

- 1 Rohstoffgruppen
- 2 Rohstoffarten
- 3-5 Bergrechtliche Stellung nach
  - 3 bayBergG v. 13. 8. 1910
  - 3.1 bergbaufrei, davon
  - 3.2 staatsvorbehalten
  - 3.3 Grundeigentum
- 4 nach „Sylvester-Verordnung“  
v. 31. 12. 1942 den berggesetzlichen Vorschriften unterworfen.
- 5 BBergG v. 13. 8. 1980
  - 5.1 bergfreie „Bodenschätze“
  - 5.2 grundeigene „Bodenschätze“

- 6 Wer hat prospektiert:
 

Ges.	= Gesellschaft
BGR	= Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
GLA	= Bayer. Geologisches Landesamt
Inst.	= Institut
- 7 Wo wurde prospektiert:
 

G	= Grundgebirge
D	= Deckgebirge
- 8 Hauptsächliche Methoden:
 

Ph.	= Geophysik
Ch.	= Geochemie
UV	= Licht
IP	= induzierte Polarisation
k	= konventionell (Bohrungen, bergmännisch)
VLF	= very low frequency

- 9 „wirtschaftlicher“ Erfolg
 

+	= positiv
++	= sehr positiv
(+)	= gering oder derzeit nicht nutzbar
(+)	= noch im Vorfeld der Wirtschaft, aber zukunftshoffig, evtl. in Notzeiten
-	= negativ

den, wenn auch zunächst mehr mit dem Ziel, bei auftretenden, konkurrierenden Flächennutzungsansprüchen die absolut ortsgebundenen Rohstoffe fundiert bewerten und ggf. für die Zukunft sichern zu können.

Bei Aluminium liegt die Einschränkung des an sich durchaus positiven Prospektions-Ergebnisses in dem Umstand, daß durch die Entwicklung der Energiepreise im letzten Jahrzehnt die Darstellung des Aluminiums aus dem gefundenen Rohstoff wieder ins Vorfeld der Wirtschaftlichkeit zurückgedrängt wurde. Das heißt, der heimische Rohstoff wurde zwar in beachtlicher Menge zugriffsbereit gefunden, doch wäre die Herstellung des Aluminiums aus ihm wesentlich teurer als aus Import-Bauxiten.

Erdwärme unter 100° C, also niedrigthermal, ist an einigen Orten durchaus in Form von Thermalwasser zugriffsbereit, wird auch in manchen Bädern Bayerns balneologisch genutzt, doch bedarf die Wirtschaftlichkeit ihrer Nutzung ausschließlich als additive Energie noch in jedem Einzelfall der sorgfältigen Prüfung.

Ausnehmend positiv und fraglos wirtschaftlich nutzbar sind die neu hinzugefundenen Graphit-Vorräte. Allerdings sind sie nicht das Ergebnis neuer Prospektionsmethoden, die in reichem Maße darauf angesetzt waren, sondern Folge wohldurchdachter und zielstrebig ausgeführter „konventioneller“ bergmännischer Auffahrung.

Bei Salz und Sole steht die wirtschaftliche Gewinnbarkeit der neu erschlossenen Solevorräte außer Zweifel.

An Flußspat wurden trotz langjähriger Prospektion kaum neue, d. h. bislang unbekannte Vorkommen von wirtschaftlichem Interesse hinzugefunden, obwohl mittels der Geochemie etliche neue Gangtrümchen nachgewiesen werden konnten. Die derzeitige wirtschaftliche Gewinnung beschränkt sich auf Restvorkommen in alten Lagerstätten. Im Jahr 1985 neu begonnen wurde die Untersuchung von Flußspatmineralisationen in permischem Sediment an der Pfahlstörungszone. Komplizierte tektonische und paläogeographische Verhältnisse lassen derzeit eine Beurteilung noch nicht zu.

Die nach Auslaufen des Schwerspat-Gangbergbaus im Spessart noch fortgesetzte Suche nach Gang-Fortsetzungen in der Teufe (Deckgebirge und Grundgebirge) erbrachte durchaus mit den bereits abgebauten Gängen vergleichbare Gang-Teile, insofern war die Prospektion erfolgreich. Daß jedoch desungeachtet der gesamte bayerische Schwerspat-Bergbau zum Erliegen kam, liegt daran, daß Schwerspat anderswo viel billiger gewonnen werden kann.

Bei Feldspat und Feldspatsand ist zu differenzieren: Es gelang der Prospektion nicht, einen auch nur annähernd adäquaten Ersatz für die Feldspat-Pegmatite von Hagendorf zu finden – insofern negativ. Positiv hingegen ist mancherorts die problemlose Erweiterung der Feldspatsand-Vorräte.

Ähnlich ist das Verhältnis bei Quarz und Quarzsand. Schwierig ist der Nachweis gewinnbarer Pfahlquarz-Qualitäten (Infrastruktur!). Überaus positiv hingegen verlief die Suche nach speziellen Quarzsanden.

Bei Kaolin, Spezialtonen, Kieselerde und Gips hatten die fortlaufenden Bemühungen um stetige Ergänzung, Erweiterung und Sicherung der Vorräte insgesamt durchaus Erfolge, die als wirtschaftlich nutzbar einzustufen sind, wenngleich die Ergebnisse im einzelnen räumlich selbstverständlich zu differenzieren sind.

Bezüglich der Vielfalt der gesuchten Stoffe vermittelt die Tabelle allerdings insofern einen falschen Eindruck, als die „Fest- und Lockergesteine“ nicht in gleicher Weise aufgeschlüsselt sind, wie die bergrechtlich definierten „Boden-schätz“.

Wären sie es in gleichem Maße, so wäre die Tabelle um ein Vielfaches länger. Die Gewinnung der hier aufgezählten – je nach Einstufung des Gips – 23 oder 24 Rohstoffarten, die als „Boden-schätz“ des BBergG dem Bergrecht unterliegen, verteilt sich in Bayern auf derzeit rd. 150 in Betrieb befindliche Gewinnungsstellen (incl. der zahlreichen Bentonit- und Spezialton-Gruben, incl. der Öl- und Gasfelder!). Dem gegenüber stehen derzeit rd. 2000 in Betrieb befindliche Gewinnungsstellen auf nicht dem Bergrecht unterworfenen oberflächennahen Massenrohstoffe („Locke- und Festgesteine“)! Diese verteilen sich auf rd. 180 unterschiedliche Gesteinsarten mit sehr unterschiedlichen Verwendungszwecken und – auch davon abhängig – von sehr unterschiedlichem Materialwert. Man denke an die Wertskala vom einfachen Dammschüttmaterial über Straßenschotter, Bahnschotter, Betonzuschlagstoffe, Kalk- und Zement-Rohstoffe, Bläh-tone, hochwertige reinweiße Kalke und Dolomite (Hochofen-Dolomit) bis zu ganz speziellen Grab- und Bausteinen oder – sehr gefragt – Gesteinen für Außen- und Innenfassaden. Es sei hier betont, daß die Suche nach manchen solcher „Steine und Erden“ durchaus den Charakter „klassischer“ Prospektion annehmen kann. Man denke hier beispielsweise an die allerdings nur kleinräumige Suche nach passendem Grünsandstein für die Außenfassade der neuen Pinakothek, an die Suche nach passendem Unterkeuper- oder Rhätsandstein (in der richtigen Fazies!) für manche Balthasar-Neumann-Bauwerke in Mainfranken oder auch an die großräumige Suche nach reinsten Kalken und Dolomiten für Industrie-Zwecke. Ein besonderes Beispiel ist die 1983 eingeleitete, vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr geförderte, weiträumige Prospektion auf bestimmte Burgsandstein-Faziesbereiche, welche geeignet sind, nordbayerische Sande und Kiese aus den Talauen zu substituieren. (Eine Notwendigkeit, deren Eintreten innerhalb des nächsten Jahrzehntes jetzt schon abzusehen ist.)

Zu den „Erfolgen“:

In erster Linie zielt jede Prospektion auf wirtschaftlich verwendbare Ergebnisse.

Zwar fehlt der vorstehend erläuterten Beurteilung des „wirtschaftlichen“ Erfolges der Prospektion, wie sie in Spalte 9 der Tabelle vorgenommen wurde, der objektive und quantifizierende Maßstab. Dies mag als Manko empfunden werden und Anlaß zu Diskussionen bieten. Doch steht außer Frage, daß auf einem beträchtlichen Sektor der Gesamtprospektion solcher Erfolg erzielt worden ist. Bei der Einzelbewertung allerdings ist zu differenzieren und im Zwei-

felsfall Zurückhaltung am Platz. Im folgenden sei nur ein Beispiel etwas genauer quantifiziert:

### Uran:

1973/74 lag die Uran-Prospektion, die immerhin seit 1950 mit einigen Intensitätsschwankungen im Gange war, fast völlig darnieder. Fast alle Konzessionen waren zurückgegeben und mit Ausnahme einer kleinen Aufsuchungskonzession der Gesellschaft Brunhilde bei Mähring sowie der ein Jahr später auslaufenden Maxhütten-Konzession lag ganz Bayern im „Bergfreien“.

„Prospektiv“ war das Verhalten der Gesellschaft damals eigentlich nicht – aber das gilt ausnahmslos für uns alle vor dem ersten Ölschock!

Die bis dahin nachgewiesenen, gewissermaßen zugriffsbereiten Uran-Vorräte bezifferten sich auf rd. 500 t Uran.

Darüber hinaus gab es immer wieder von verschiedenen Seiten in die Welt gesetzte Kolportagen über angebliche Vorräte von mehreren 10 000 t, die nur nicht richtig untersucht worden seien.

Heute, nach 12 weiteren Jahren neuerlicher, sehr intensiver Prospektion durch z. T. neue Firmen mit weltweiter Erfahrung und z. T. sehr erfahrenen Prospektions-Mannschaften, sowie mit einem Mittelaufwand, der ein Mehr- bis Vielfaches dessen betrug, was in den 20 Jahren vorher ausgegeben worden war, sieht das Ergebnis wie folgt aus: Nachgewiesen und zugriffsbereit sind rd. 2000 t Uran mit wesentlich höheren Durchschnittsgehalten als sie die 500 t von 1974 enthielten.

Darüber hinaus aber – und auch das ist ein wichtiges Ergebnis – herrscht jetzt auch bei Firmen und manch anderen Stellen größere Einsicht und Sicherheit darüber, in welchen Landesteilen keine U-Höufigkeit besteht und, umgekehrt, wo weiter zu suchen aussichtsreich und erfolgversprechend ist.

Die Vervierfachung der zugriffsbereiten Vorräte wie beim Uran wird bei einigen anderen mineralischen Rohstoffen noch erheblich übertroffen, bei anderen wiederum – das sei nicht verschwiegen – bei weitem nicht erreicht. Bei einigen wurde gar nichts gefunden.

Hervorzuheben ist aber – und das gilt fast ausnahmslos für alle Prospektionen, in Bayern aber ganz besonders für die Kohlenwasserstoffe- sowie die Uran- und Metallerz-Prospektion und -Exploration – der hohe Nutzen, den die geologische Landesaufnahme daraus für die Kenntnis des Untergrundes zieht, und den sie ihrerseits wieder umsetzen kann für andere Fragestellungen wissenschaftlicher oder praktischer Art, z. B. für Fragen der Erdwärmeverwendung, der Tiefversenkung oder der Tiefenwässer.

Auf die reiche wissenschaftliche Ausbeute, die bei aller Prospektion gewissermaßen „nebenbei“ abfällt, soll hier nicht eingegangen werden, betont sei nur ihr hoher Wert. Ein Wert, der nicht nur in Kategorien von Nützlichkeit zu sehen ist, sondern auch im Sinne geistiger Anregung. Das war es wohl auch, was LEONARDO DA VINCI (1452–1519) gemeint hat, als er sagte: Die Kenntnis von der

Vergangenheit unserer Erde ist Schmuck und Nahrung des menschlichen Geistes.

### Zurück zur Prospektion in Bayern:

Es ist ein Gebot der Klugheit und Vorsicht, daß nach den Energie-Rohstoffen Öl, Gas und Uran weiter prospektiert wird, wo auch immer man vernünftigerweise ihr Vorkommen erwarten kann. Auch die Nutzung der Erdwärme ist Entwicklungsfähig. Hingegen sind neue Lagerstätten der „klassischen“ Bodenschätze wie Silber, Kupfer, Blei, Zink im nordostbayerischen Grundgebirge kaum mehr zu erhoffen.

Hingegen sollten die Gedanken und Methoden, deren eine Prospektion auf Gold und evtl. auch noch auf Zinn, aber auch auf andere Selten-Metalle bedarf, durchaus noch ausgebaut und gepflegt werden.

Das Augenmerk ist darüberhinaus aber zu richten auf das Deckgebirge und auf das *darunter* liegende Grundgebirge sowie auf die Entwicklung von Modellen und Methoden, die einer zielgerichteten Prospektion im begrabenen Grundgebirge dienlich sind – bislang eine ungelöste Aufgabe.

Mehr Zuwendung des Prospektionsinteresses sollte auch gelten manchen speziell verwertbaren Gesteinen wie bestimmten Qualitäten von Dolomit, Kalk, Quarz oder seltenen Restaurationsgesteinen. Hier hat auch der Vorsorgegedanke gegenüber anderen Flächennutzungsansprüchen Platz zu greifen.

Anzustreben wären auch Regelungen, die es ermöglichen, nach Ablauf einer bestimmten Sperrfrist alle ausgeführten Untersuchungen, ihre Ergebnisse und Befunde der interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen, auch Bohrkerne und Proben.

THEODOR FONTANE (1819–1898) würde seinen Vater Briest hier enden lassen mit den Worten: Dies ist ein weites Feld!

Hingegen soll noch auf etwas hingewiesen sein, was gelungene, erfolgreiche Prospektionen zumeist in irgendeiner Weise nach sich ziehen, nämlich Grundsteinlegungen, Richtfeste oder Eröffnungen mannigfacher Art. Dabei gibt es viele Väter des Erfolgs, die sich gegenseitig dafür preisen und loben.

Vom Prospektor, seinem Konzept, seiner Initiative, seiner Geduld und seinem Wechselbad zwischen Enttäuschung und Hoffnung ist dann meist nicht mehr die Rede.

Doch was kümmert es den Prospektor – er ist längst mit neuen Prospektionsbefaßt!

Daß solches in Bayern noch oft und mit Erfolg geschieht, sei hier als Wunsch ans Ende gestellt.



## Eisenerz

Von HELMUT GUDDEN

Mit 7 Abbildungen und 1 Tabelle

Während die ältesten Bergbau-Spuren in Bayern auf mesolithischen Silex-Bergbau schließen lassen (4000–6000 a.C.), stammen die ältesten Spuren von Eisenerz-Gewinnung und Eisen-Verarbeitung aus der La-Tène-Zeit (~ 400 a.C.). Sie waren auf prä-obercenomane Brauneisenerze auf der Frankenalb gerichtet.

Seither fand im Gebiet des heutigen Bayern Bergbau auf Eisenerz wohl zu allen Zeiten auf Lagerstätten unterschiedlichster geologischer Position und Provenienz statt. Der längstdauernde Bergbau war jener auf die Erze der als prä-obercenomane Ablagerung gebildeten sog. „Amberger Erzformation“, der auf zahllosen Vorkommen im Ostteil der nördlichen Frankenalb umging. Die größten Lagerstätten waren bei Amberg, Sulzbach-Rosenberg und Auerbach in der Oberpfalz. Nach fast 1000jähriger Bergbautätigkeit und fast volliger Vorratser schöpfung in diesem Raum stand hier 1986 nur noch die Lagerstätte „Leonie“ nordwestlich von Auerbach als einzige Eisenerzgrube in Bayern in Abbau. Sie wurde im Mai 1987 stillgelegt, nachdem die Maxhütte Konkurs angemeldet hatte.

Das dortige Bergwerk wurde im Anschluß an den auslaufenden Bergbau auf der Nachbar-Lagerstätte Nitzlbuch-Bernreuth im Oktober 1977 in Betrieb genommen. Vorausgegangen waren bereits Abbauperioden auf oberflächennahe gelegenen Teilen der Lagerstätte in den Jahren 1871–1921 („Leonie I“) und 1941–1947 („Leonie II“).

*Tabelle 1: Eckdaten*

Unternehmen	Förderung 1986 in t		Bergbau- produkte	Bergbau- betriebe	Beleg- schaft
	Roherz	Metallinhalt			
Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte mbH, Sulzbach-Rosenberg	500 003	181 529	Roherz	1	326

## Unternehmen

Die Lagerstätte (Bergwerkseigentum) und das Eisenerzbergwerk Leonie gehörte zum Eigentum der Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte mbH in Sulzbach-Rosenberg/Opf., die ihrerseits zur Klöckner-Werke-AG in Duisburg gehörte.

Leonie war das letzte noch in Betrieb befindliche Eisenerz-Bergwerk in der Bundesrepublik Deutschland. Es besteht aus einem 194 m tiefen Förderschacht (Füllort bei 185 m Teufe), einem 171,6 m tiefen Wetterschacht und einem Grubengebäude, welches in 100–200 m Tiefe unter Gelände die Lagerstätte bislang in rd. 1000 m streichender Länge und 3000 m querschlägiger Breite aufgeschlossen und mehrheitlich bereits abgebaut hat.

Das gewonnene Erz wurde auf der Straße zum 26 km entfernten Hüttenwerk in Sulzbach-Rosenberg Hütte gebracht und dort verhüttet. Zuletzt deckte die geförderte Erzmenge, je nach Schrott- und Importerz-Preisen wechselnd, etwa die Hälfte des in den Hochöfen eingesetzten Eisen-Anteils.

### Geographische Lage

Die Lagerstätte Leonie liegt 1 km nordwestlich der alten Bergstadt Auerbach, von welcher der Name des durch GOETHES Faust berühmt gewordenen Leipziger Lokals „Auerbachs Keller“ abzuleiten sein soll. Auerbach liegt 50 km nordostwärts von Nürnberg, im Landkreis Amberg-Sulzbach, Regierungsbezirk Oberpfalz, Bergamtsbezirk Amberg.

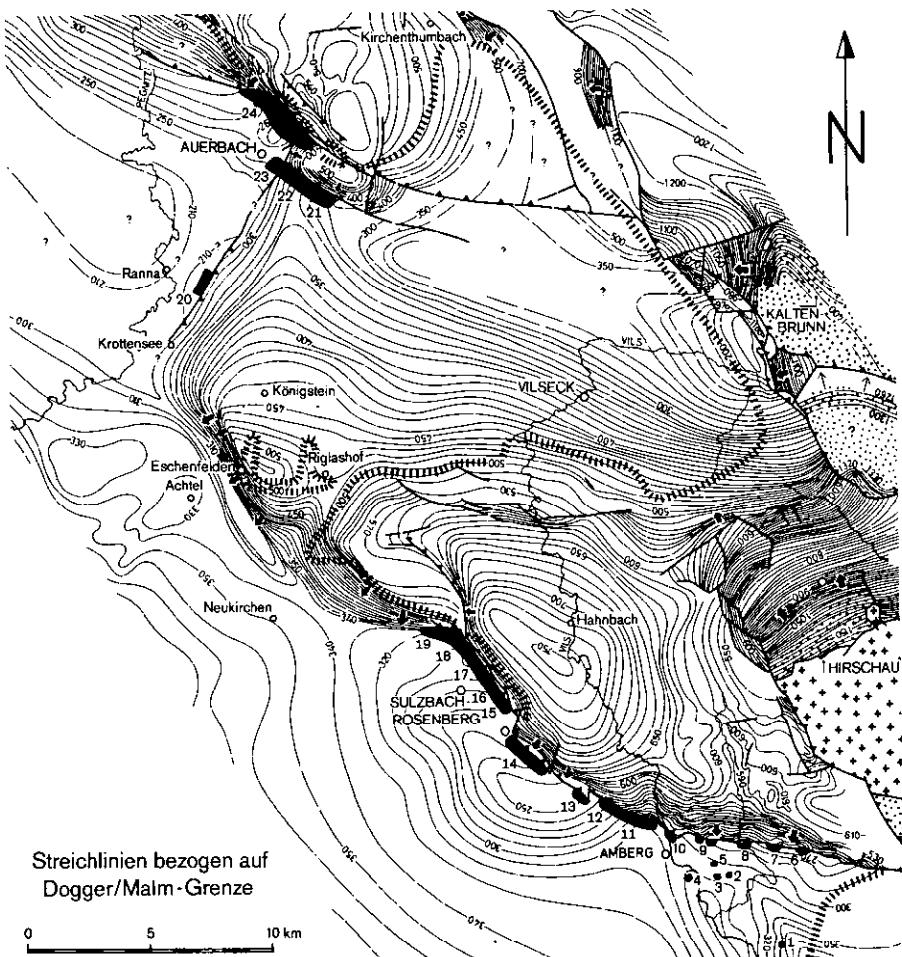
### Geologie und Entstehung der Lagerstätte

Die Lagerstätte „Leonie“ gehört ebenso wie ihre Nachbarlagerstätten Nitzlbuch-Bernreuth (bereits abgebaut) und „Katharina“ (nicht abbaubar, da in Wasserschutzgebiet liegend) der prä-obercenoman abgelagerten „Amberger Erzformation“ an.

Es ist dies eine Fazies der terrestrischen Schutzfelsschichten, die sich als vorwiegend klastische Sedimente (Sande, z. T. Tone) in einer nicht schärfster bestimmbaren Zeitspanne innerhalb des Zeitraumes „höhere Unterkreide“ bis „tieferes Cenoman“ in und auf das während der Unterkreide entstandene Karstrelief des Malm der östlichen und nördlichen Frankenalb gelegt haben.

Die Lagerstätte Leonie liegt, ebenso wie die bereits abgebauten Erzkörper bei Amberg, Sulzbach und Auerbach, eingebettet in große Karst-Hohlformen des hier 100–160 m mächtigen Malm, deren Boden stellenweise bis auf den Dogger eingetieft ist. Die „Erztröge“ sind im Gefolge „vor-erzischer“ unterkretazischer Verbiegungstektonik entstanden. Diese hat nicht nur die östlich benachbarten Gebiete herausgehoben und der verstärkten Abtragung ausgesetzt, sondern auch am Ostrand der „Frankenalbfurche“ die Hauptentwässerungsströme und damit die Hauptrichtung der großen Karst-Hohlformen bestimmt (vgl. Abb. 1).

Im so herausgehobenen östlichen Abtragungsgebiet war durch intensive chemische Verwitterung über große Flächen ein beträchtliches Eisen-Angebot bereitgestellt, das wahrscheinlich zu großen Teilen aus dem Eisengehalt des



Die Haupt-Erztröge und Lagerstätten im Rahmen der Biegsungs- und Bruchtektonik am Ostrand der Frankenalb-Ausschnitt aus der "Tektonischen Karte der Fränkischen Alb und ihrer Umgebung" von B. v. FREYBERG (1969: Tafel 6); Erztröge, Lagerstätten und heutiger Ostrand der geschlossenen Malm-Verbreitung eingezzeichnet von GUDDEN 1970.

**Benennung der Vorkommen, Lagerstätten und Erztröge:**

- |                        |   |
|------------------------|---|
| 1 Ebermannsdorf        | 13 Schäflohe                                    |
| 2 Haidweiher           | 14 Eichelberg (Siebeneichen)                    |
| 3 Penzhof              | 15 St. Georg (Lobenhof)                         |
| 4 Putzerzeche          | 16 St. Anna u. Galgenberg                       |
| 5 Kümmerbruch          | 17 Karoline                                     |
| 6 Ludwigzeche          | 18 Etzmannsberg                                 |
| 7 Paulsdorf-Altenricht | 19 Großenfalg (Fromm)                           |
| 8 Engelsdorf           | 20 Katharina                                    |
| 9 Krumbach             | 21 Bernreuth                                    |
| 10 Maria-Hilf-Berg     | 22 Nitzlbuch                                    |
| 11 Vorderer Erzberg    | 23 Welluck                                      |
| 12 Hinterer Erzberg    | 24 Leonie (Leonie, Schleichershof, Reichenbach) |

Eisenerzlagerstätten

Ostbegrenzung der  
geschlossenen  
Malm-Verbreitung

Abb. 1. Die geologisch-strukturelle Position der Lagerstätte Leonie. – Aus GUDDEN (1972: Beil. 1).

Doggersandsteins abzuleiten ist. Aufnahme, Transport, Ausfüllung und Anreicherung des Eisens werden wie folgt erklärt:

Bei hohem Grundwasserstand, humid-warmem Klima und zumindest örtlich üppiger Vegetation konnten sich huminsäurereiche, sog. „Schwarzwässer“ bilden, welche die Abtragungsgebiete konsequent in Richtung Randtalzüge, d. h. eben in die „Erztröge“ entwässerten und dabei das Eisen in Lösung oder Gel-Form transportiert haben. Beim Einrinnen in die mit stagnierendem Wasser gefüllten Tröge durchmischten sich die eisenbefrachteten „Schwarzwässer“ mit den harten Karbonat-Wässern des Malm-Karstes. Dabei verloren sie ihre Eisenfracht, welche sich somit in den Trögen anreicherte, je nach pH-Wert,  $\text{CO}_2$ -und  $\text{O}_2$ -Gehalt als Eisenkarbonat (Spateisenstein) oder Eisenhydroxid (Brauneisenstein) (vergl. Abb. 2).

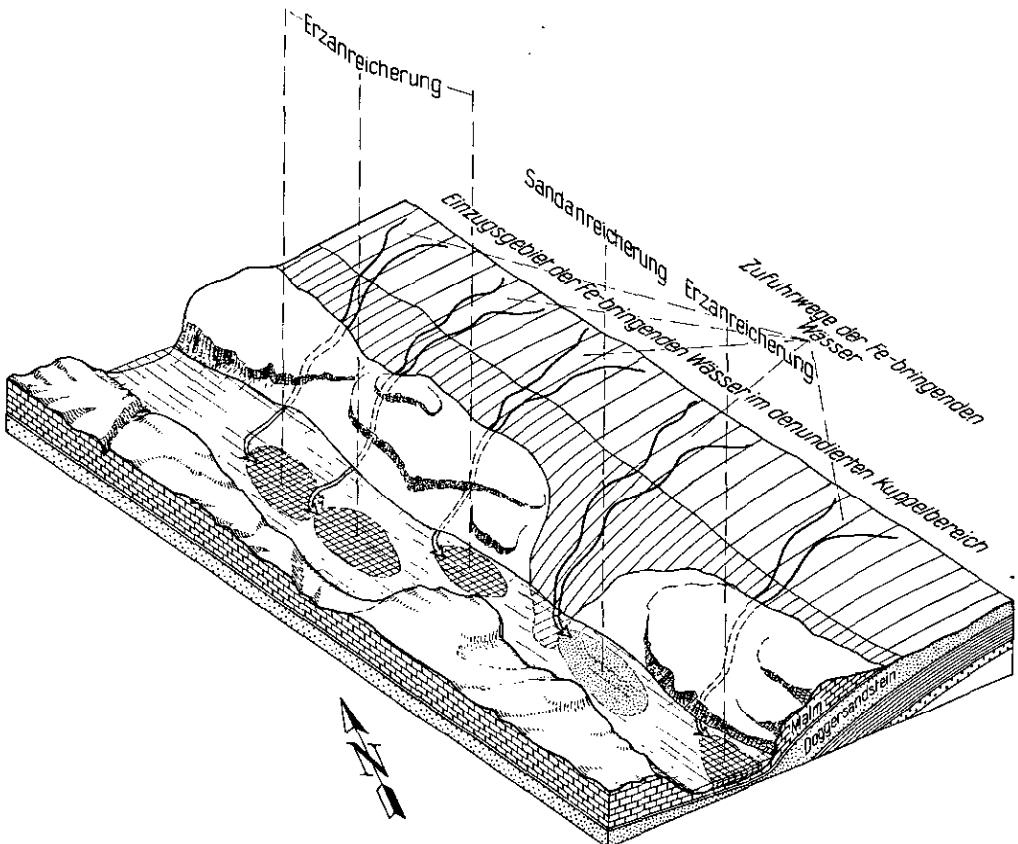


Abb. 2. Schema-Skizze eines Erz-Troges zur Erzbildungszeit. – Die eisenbringenden Oberflächen-Wässer rinnen an zahlreichen Stellen in den Trog, mal zwischen den Malm-Barrieren, mal durch diese hindurch. Die unterschiedlichen Wege könnten Mit-Ursache für die unterschiedlichen Reinheitsgrade der Erze sein. – Aus GUDDEN (1966: Abb. 3).

Das durch Verwitterung bereitgestellte Eisen-Angebot in den denudierten Liefergebieten ist also durch Oberflächen-Wässer als Lösung ( $\text{Fe}^{2+}$ , Eisenhuminkomplexe) oder Eisen-III-Hydroxidgele ( $\text{Fe}^{3+}$ ) transportiert und in den wasser-erfüllten Erztrögen abgelagert und angereichert worden. Es handelt sich

um terrestrische, in limnisch-fluviatilem Milieu entstandene Verwitterungs-Konzentrations-Lagerstätten.

Nach der Lagerstätten-Bildung hat mehrphasige, oberkretazische Aufschiebungs- (Bruch-) Tektonik die Lagerstätte in ein „unteres“ und ein „oberes“ Lager zerbrochen und das „untere“ Lager vor der Abtragung und Ausräumung geschützt. In früheren Perioden galt der Abbau vorwiegend dem „oberen“ Lager. Zuletzt ging der Bergbau fast ausschließlich im „unteren“ Lager um.

### Hydrogeologische Verhältnisse

Die Lagerstätte liegt 70 bis 130 m unter dem Karstwasserspiegel des Mälms, in dessen Relief sie eingebettet ist. Sie ist auf der SW-Seite umgeben von diesem verkarsteten Malm, auf der NE-Seite von der herausgehobenen und teilweise aufgeglittenen Hangendscholle mit steilstehenden Schichten des Doggersandsteins und des verkarsteten Mälms. Überlagert wird sie, soweit nicht durch die Hangendscholle überdeckt, von sandigen und tonigen Sedimenten der Oberkreide, deren Wasserfüllung mit dem Karstwasser kommuniziert, und die oberhalb des Karstwasserspiegels noch ein schwebendes Wasserstockwerk enthalten. Grundwassersohlschicht für das Karstwasser sind Tonsteine des Oberen Doggers (Ornatenton), welche auch die tiefste Basis der Lagerstätte bilden.

Unterhalb dieser maximal nur rd. 10 m mächtigen, tonigen Schichten des Oberen Doggers folgt der Doggersandstein, der als Porenwasserleiter gespanntes Grundwasser enthält (vgl. Abb. 3).

Der Bergbau muß das obere Wasser beherrschen bzw. mit ihm leben und eine Lösung des unteren Wassers unter allen Umständen meiden. Es ist eine Forderung, die hohe Bergbaukunst verlangt.

### Lagerstätte

Die Lagerstätte besteht aus dem durch seinen bauwürdigen Fe-Gehalt definierten Erzkörper, dessen Begrenzung überaus unregelmäßig gestaltet ist und einem total mißratenen Laib Brot ähnelt: mit Aus- und Einbuchtungen, Vorstülpungen und Einschnürungen. Auch in seinem Innern ist der Erzkörper mannigfach durchsetzt von nichtbauwürdigen Einschaltungen, kopf- bis hausgroßen, unregelmäßig geformten Körpern aus Sand, Ton und Eisenocker nicht bauwürdiger Qualität oder teils synsedimentär, teils als Folge der Tektonik dazwischen geratenen Kalk- oder Dolomitblöcken aus dem Malm (vgl. Abb. 4).

Der so beschriebene Erzkörper hat eine NW-SE-gerichtete Längserstreckung von 1,5 km und maximale Breiten von > 300 m. Seine Mächtigkeit wechselt zwischen 10 und 60 m. Durch eine Einschnürung ist er in einen größeren NW-Flügel und einen kleineren SE-Flügel gegliedert.

Die Erze des NW-Flügels sind in der Zeit von Oktober 1977 bis 1986 schon zum großen Teil abgebaut worden.

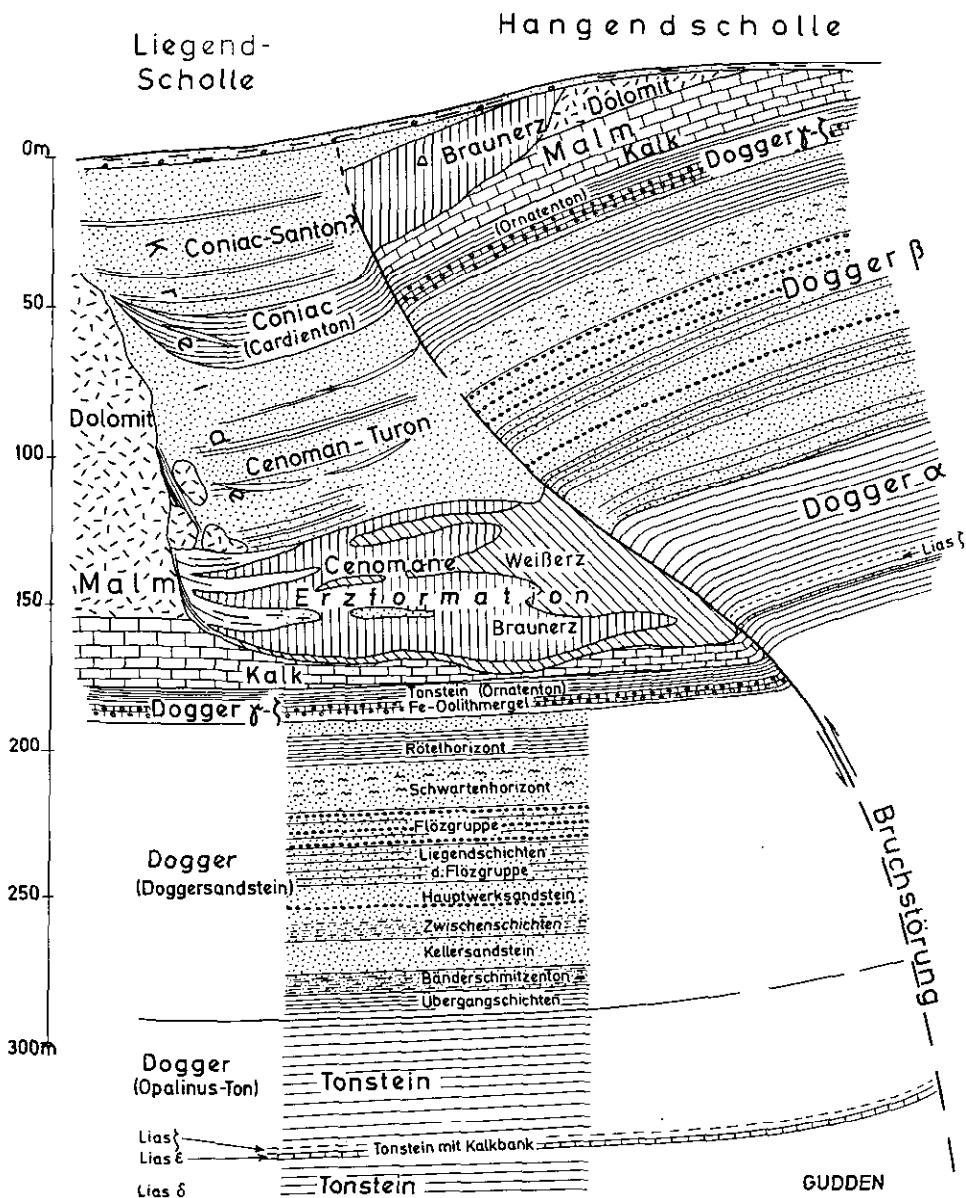


Abb. 3. Schichtenfolge und Lagerung im Bereich des Leonie-Erztröges (etwas schematisiert). – Aus ECKMANN & GUDDEN (1972: Abb. 4).

### Erz-Beschaffenheit

Das Erz besteht vorwiegend aus Brauneisenerz ( $\alpha$ -FeOOH, Goethit, „Braunerz“). Weißesenerz (vorwiegend Siderit, sehr wenig Chamosit, „Weißerz“) ist mit rd. 37% am Gesamterz beteiligt.

Je nach Festigkeit und Verunreinigungsgrad werden beide Erz-Varietäten mit unterschiedlichen Namen belegt („Derberz“, „Schußerz“, „Rieselerz“,

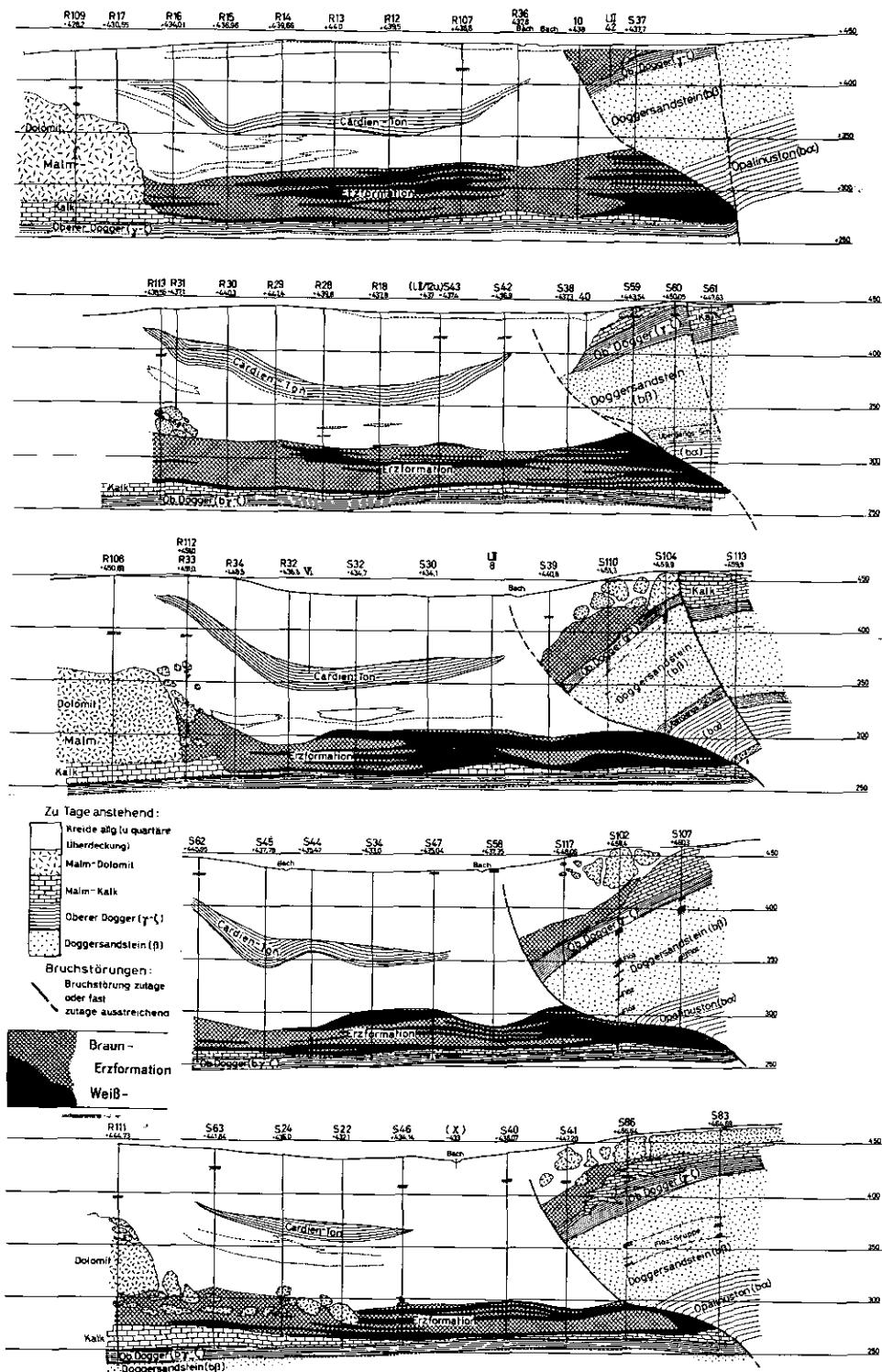


Abb. 4. Einige typische Querprofile durch die Lagerstätte Leonie bei Auerbach/Opf. – Aus ECKMANN & GUDDEN (1972; Beil. 1).

„Ockererz“, „Tigererz“ u. a.). Die Übergänge vom bauwürdigen Erz über durch Sand oder Ton verunreinigtes Erz zu Ockertonen, Weißerztonen oder zu eisenschüssigen Sanden, aber auch zu „normalen“ Sanden und Tonen der nicht bauwürdigen „Erzformation“ können fließend oder scharf sein. Die Regellosigkeit der Erzbegrenzung und der tauben Einschlüsse erschwert die Einhaltung gleichmäßiger Gehalte im Fördergut beträchtlich.

Im Mittel hatte das geförderte Erz im Feuchten folgende Zusammensetzung in %:

Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	P	Mn	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
38,6	12,1	7,3	2,6	0,3	1,3	0,13

### Produktion

Von Oktober 1977 bis Ende 1986 sind aus der Lagerstätte „Leonie“ rd. 5 Mio. t Erz mit im Durchschnitt knapp 40% Fe (im Feuchten) gefördert worden. (Dazu notgedrungen auch fast 200 Mio. t Wasser, was der Vorflut zugelassen wurde.)

Das Erz wurde ohne weitere Aufbereitung zusammen mit Späneschrott in den Hochöfen der Maxhütte in Sulzbach-Rosenberg eingesetzt.

Die Förderung im Jahr 1986 betrug 500 003 t (vgl. Abb. 5).

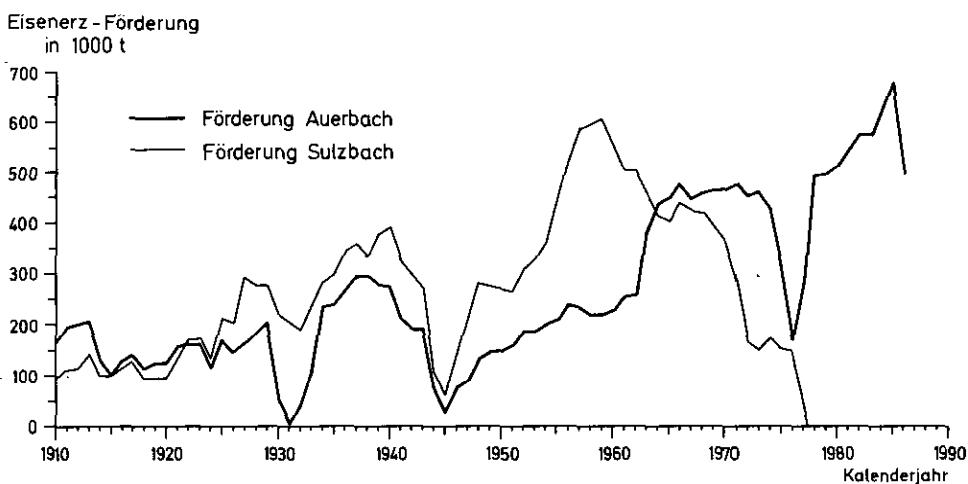


Abb. 5. Entwicklung der Eisenerzförderung in Auerbach und (vergleichsweise) in Sulzbach. – Aus PFEUFER (1986: Abb. 4), ergänzt.

### Gewinnungstechnik

Voraussetzung für die Eisenerzgewinnung in Leonie war die Beherrschung des Wassers aus dem oberen Wasserstockwerk. In der neben dem Schachtfuß in Malmkalk aufgefahrenen Pumpenkammer mit rd. 1300 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen sowie im Schachtstumpf war eine Pumpenkapazität von zusammen 1900 l/s (114 m<sup>3</sup>/min) installiert.

Der Erz-Abbau geschah in dem schon in der Nachbargrube Nitzlbuch bewährten Teilsohlenbruchbau mit 6 m Teilschalenabstand in LHD-Technik (vgl. Abb. 6, 7).

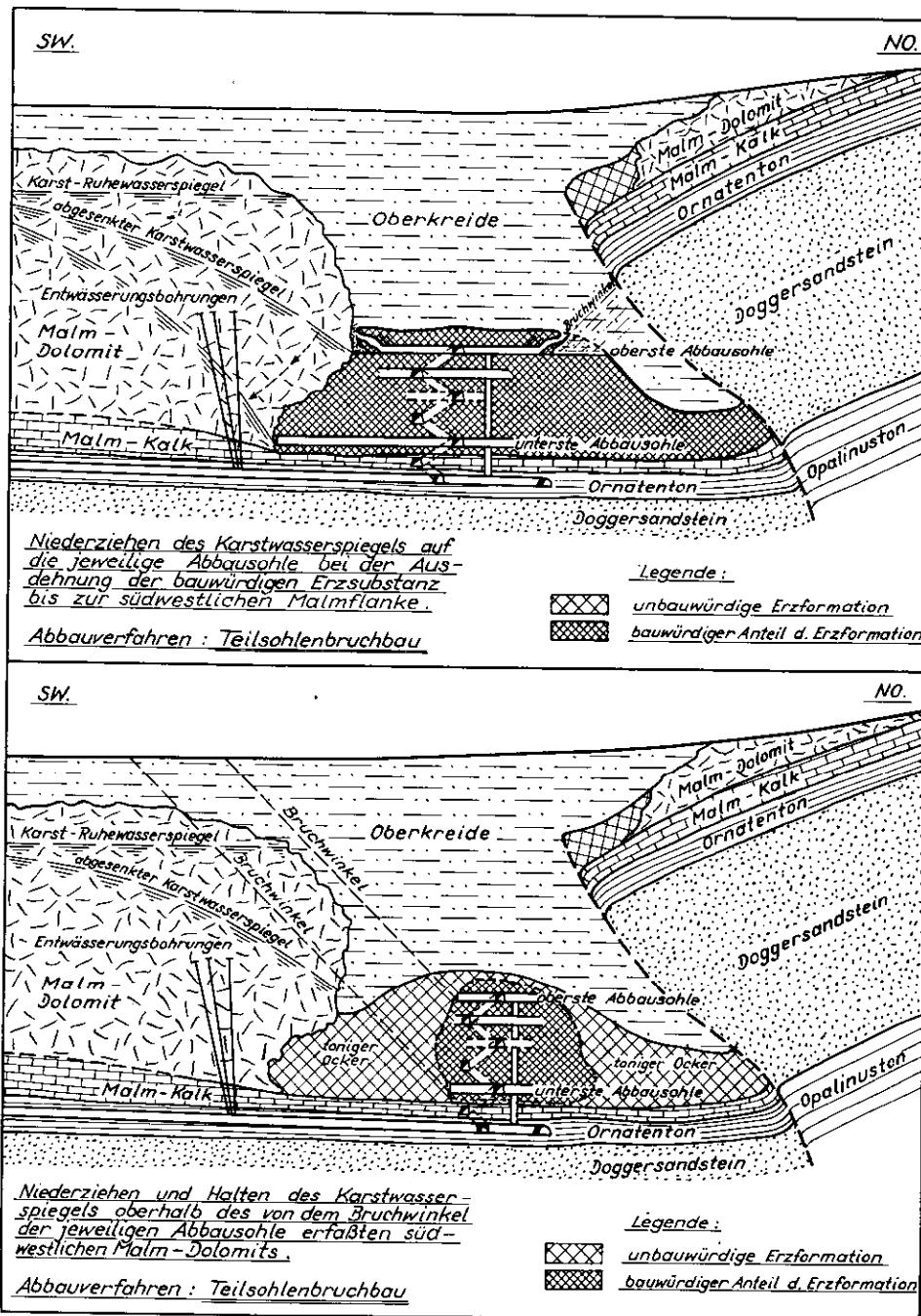


Abb. 6. Eisenerzlagerstätte Leonie in Auerbach. – Aus PFEUFER (1986: Abb. 2).

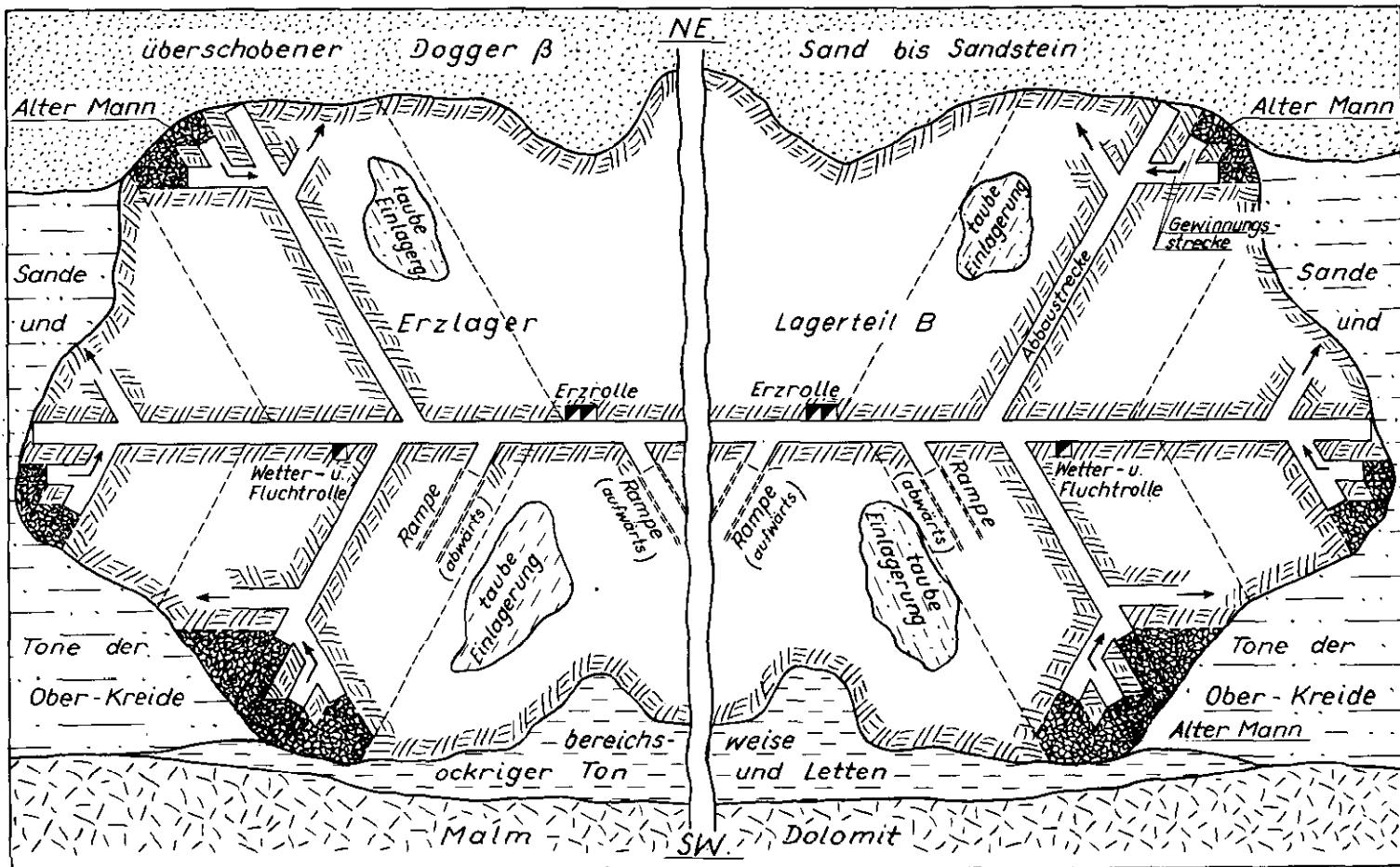


Abb. 7. Abbau und Vertriebsweise auf dem Eisenerzbergwerk Auerbach (Grundriss). – Aus PFEIFFER (1986: Abb. 6).

Die meisten Ausrichtungsgrubenbaue sind im trockenen Mergelton des Oberen Doggers und des untersten Malms mit 2 Teilschnitt-Gewinnungsmaschinen AM 50 aufgefahren worden, die sich allerdings im Erzkörper mit seinen wechselnd weichen oder auch sehr harten Partien nur noch partiell einsetzen ließen. Hier wurde die schneidend-reißende Abbautechnik zu 70–80% durch Bohren und Sprengen ersetzt, wozu in den letzten Jahren 7 vollelektrohydraulische Bohrwagen mit dem Bohrhammer HBM mit gutem Erfolg eingesetzt waren. Beide Techniken wurden je nach Erzbeschaffenheit vorgehalten und angewandt. Den Erztransport vom Gewinnungsort zur Erzrolle vollführten dieselgetriebene Fahrklader mit rd. 1,6 m<sup>3</sup> Schaufelinhalt der Firmen GHH und Schopf.

Für die zweimal jährlich notwendige Reinigung der Sumpfstrecken waren 2 dieselgetriebene GHH-Fahrklader LF2H vorhanden und als Service-Fahrzeuge 2 Plattform-Transporter von den Firmen Schopf (F 66) und Schell (HS 55). Als Service-Werkstattwagen diente ein Fahrzeug der Firma Paus (B1/1.6).

Großes Bemühen galt in den letzten Jahren der Entwicklung und Erprobung eines bereits unterteage wirksamen Homogenisierungssystems auf der Grundlage einer unterteage arbeitenden automatischen Schnellanalytik, um die starke physikalische und chemische Wechselhaftigkeit des Förderhaufwerks zu steuern. Ein hierfür durchgeführtes F- und E-Programm wurde vom BMFT gefördert.

Die Gesamtheit aller der Sicherheit und der Förderleistung dienenden Maßnahmen haben trotz geologisch erschwerter Bedingungen in Leonie eine im Vergleich zu den früheren Nachbargruben seit 1957 auf das fünffache gesteigerte Untertageleistung, nämlich auf 14 t pro Mann und Schicht erbracht und damit das lange Überleben dieses Eisenbergwerks ermöglicht.

## Literatur

Vorstehende Ausführungen stützen sich auf umfangreiche Literatur, welche in wohl größtmöglicher Vollständigkeit zusammengestellt ist in den jüngsten Arbeiten von:

- ECKMANN, W. & GUDDEN, H. (1972): Die Eisenerzlagerstätte „Leonie“ bei Auerbach/Opf. – *Geologica Bavaria*, **65**: 126–159, München.
- GUDDEN, H. (1966): Der Rosenberger Quersprung, ein präcenomaner Bruch in der Amberg-Sulzbacher Störungszone. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **16**: 91–101, Erlangen.
- (1972): Die Bildung und Erhaltung der Oberpfälzer Kreide-Eisenerzlagerstätten in Abhängigkeit von Biegungs- und Bruchtechnik. – *Geologica Bavaria*, **65**: 107–125, München.
- (1984): Zur Entstehung der nordostbayerischen Kreide-Eisenerzlagerstätten. – *Geol. Jb.*, **D 66**: 3–49, Hannover.
- PFEUFER, J. (1986): Entwicklung und Stand der Bergtechnik im Eisenerzbergbau von Auerbach, Oberpfalz. – *Schr.-Reihe Bergbau- u. Industriemus. Ostbayern*, **7**: 69–76, Theuern.
- RUPPERT, H. (1984): Physiko-chemische Betrachtungen zur Entstehung der Kreide-Eisenerzlagerstätten in Nordost-Bayern. – *Geol. Jb.*, **D 66**: 51–75, Hannover.



## Uranerz

Von ULRICH LAGALLY

Mit 5 Abbildungen und 1 Foto

Die älteste Nachricht über Vorkommen von Uran in Bayern stammt aus dem Jahre 1804. Bei diesem Fund handelt es sich um Uranglimmer aus dem Flusspatrievier Wölsendorf bei Nabburg (BERTELE 1804). Bis zum zweiten Weltkrieg wurden weitere Fundorte bekannt, jedoch setzte eine gezielte Suche erst nach 1945 ein. Besonders in den Jahren 1957 bis 1962 und vor allem – mit kurzen Unterbrechungen – 1969 bis 1981 prospektierten Firmen und auch staatliche Institutionen mit finanzieller Unterstützung durch Bund und Land vor allem in Nordbayern, nachdem die süddeutsche Molasse und der Alpenraum als nicht häufig erkannt worden waren.

Diese Untersuchungsarbeiten konzentrierten sich im wesentlichen auf das nordostbayerische Grundgebirge; in ihrem Verlauf wurde neben einigen Urananreicherungen, die zum Teil auch bergmännisch untersucht wurden (z. B. Rudolfstein bei Weißenstadt, Wäldel bei Mähring, Höhensteinweg bei Poppenreuth, Schirmberg bei Altendorf), das Vorkommen Großschloppen bei Kirchenlamitz entdeckt. Nach der Lokalisierung der Oberflächenanomalie im Jahre 1977 wurde der untertägige Aufschluß im Jahre 1979 in Angriff genommen. Heute befindet es sich als einziges bayerisches Uranvorkommen in der bergmännischen Explorationsphase.

## Unternehmen

Das Vorkommen liegt im Gebiet der Aufsuchungserlaubnis von Uranerzen in Nordostbayern, die der Esso AG im Jahre 1976 vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr erteilt worden war. Seit dem Jahr 1984 wird die Konzession von einem Konsortium gehalten, dem neben der Esso AG die Firma Saarberg Interplan Uran GmbH (Saarbrücken) als Operator und Central Electricity Generating Board (London) angehören.

Der Christa-Stollen des Untersuchungsbergwerkes Großschloppen wurde 1979 angeschlagen und zunächst als Rampe in den Bereich der sog. Großschloppen-Struktur bis in eine Teufe von ca. 70 m unter Gelände vorgetrieben. Von dort verläuft eine Wendel mit Querschlägen parallel zur und innerhalb der mineralisierten Zone bis in eine Teufe von 195 m (Abb. 1). Das Vorkommen ist derzeit über ca. 350 m streichende Länge bergmännisch aufgeschlossen (MOORE et al. 1983).

Das im Rahmen der Explorationsarbeiten anfallende Erz wird separat gefördert und auf einer eigenen Erzhalde zwischengelagert. Die Herstellung von Urankonzentrat erfolgt bei anderen Unternehmen.

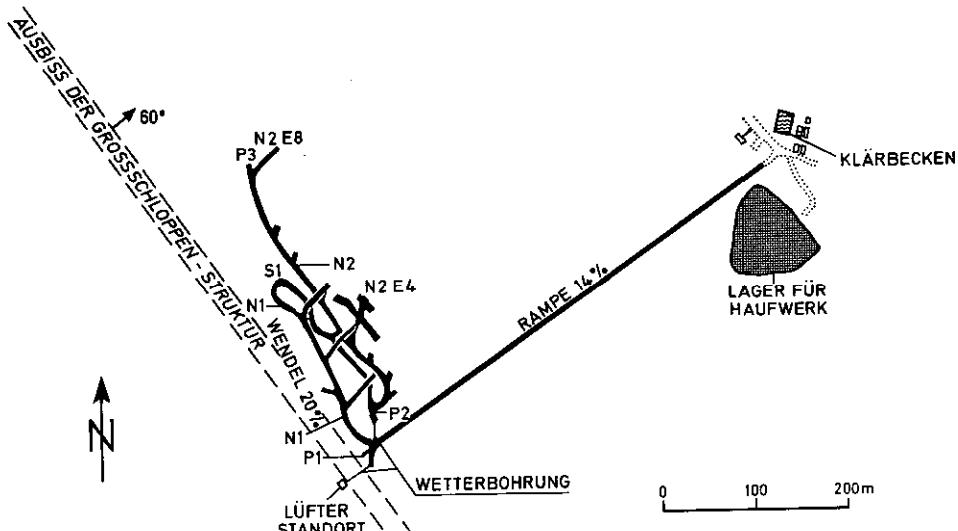


Abb. 1: Lage des Grubengebäudes.

### Geographische Lage

Großschloppen liegt am Südfuß eines markanten Höhenzugs, der vom Waldstein über den Bergkopf zum Epprechtstein verläuft, in flachwelligem bis hügeligem Gelände und ist von Weissenstadt ca. 5 km entfernt. Das Gebiet gehört zur Übergangszone vom Fichtelgebirge zur nördlich anschließenden Selb-Wunsiedeler Hochfläche und umfaßt die nordwestlichen Teile des Landkreises Wunsiedel im Fichtelgebirge (Regierungsbezirk Oberfranken).

Der Untersuchungsbergbau liegt ca. 600 m östlich der Ortschaft; Stollenmundloch und sonstige obertägige Betriebseinrichtungen befinden sich in einer Höhe von ca. 573 m ü. NN. Das zuständige Bergamt hat seinen Sitz in Bayreuth und ist von Großschloppen ca. 35 km entfernt.

### Geologie und Entstehung des Vorkommens

Uranvererzung tritt im Raum Großschloppen in der Übergangszone von den Fichtelgebirgsgraniten zu den Metamorphiten südlich der Münchberger Gneismasse auf (Abb. 2). Der Nordrand des Fichtelgebirges wird aus saueren Intrusivkörpern gebildet, die in verschiedenen Phasen im Oberkarbon eingedrungen sind. Ihrem Intrusionsalter entsprechend werden sie in zwei Gruppen eingeteilt: Der Weissenstadt-Marktleuthener Granit (G 1) weist ein Alter von  $310 \pm 14$  Ma auf, die jüngere Abfolge (Randgranit G 2, Kerngranit G 3 und Zinngranit G 4) liegt altersmäßig zwischen  $291 \pm 7$  Ma und  $285 \pm 6$  Ma (BESANG et al. 1976). Der G 1 hat durchschnittliche Urangehalte von  $4 \pm 1$  ppm, die der jüngeren Granite variieren zwischen  $6 \pm 2$  ppm und  $17 \pm 14$  ppm (RICHTER & STETTNER 1979). In bestimmten Bereichen, so auch nördlich von Weissenstadt,

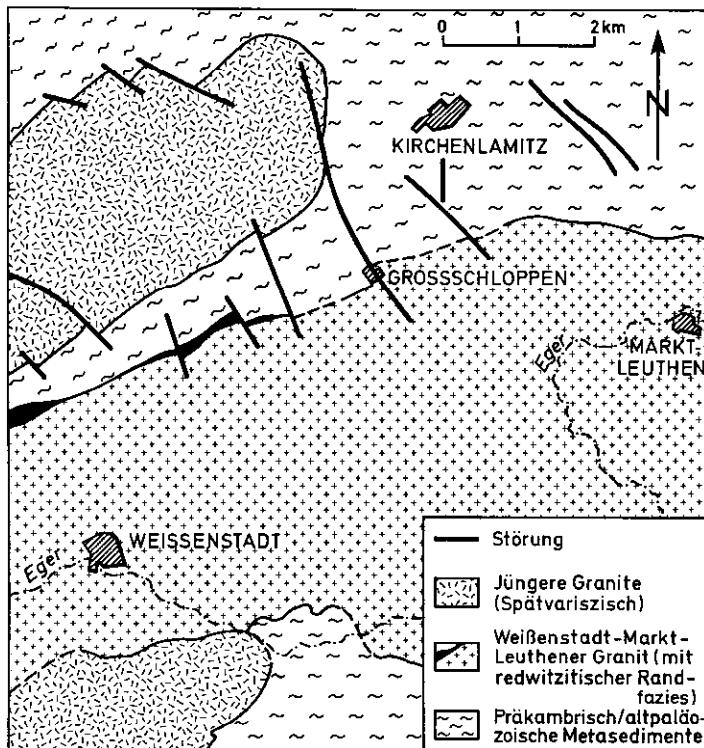


Abb. 2: Geographische Lage und geologischer Überblick. – Umgezeichnet nach STETTNER (1964).

hat der G 1 eine granodioritisch-dioritisch-redwitzitische Randfazies ausgebildet, die in einem bis mehrere 100 m breiten Streifen aufgeschlossen ist.

Die Umrahmung der Granitkörper bilden (prä-)kambrische bis altpaläozoische Metamorphite. Die Abfolge, die generell nach Norden zur Münchberger Gneismasse hin jünger wird, beginnt mit Glimmerschiefern und Quarziten, an die ordovizische Quarzite (z.B. Frauenbachquarzit) und Phycodenschichten anschließen.

Mächtige Intrusionen der jüngeren Granitgruppe finden sich auch nördlich des Weißenstadt-Marktleuthener Granites. Dort treten sie morphologisch deutlich in Erscheinung (Waldstein, Bergkopf, Epprechtstein). Als jüngste magmatische Gesteine drangen stellenweise Gangquarze, vereinzelt auch Gangdiabase, in Schwächezonen ein.

Pleistozäne Ablagerungen wie Fließerden, Fließlehme, Wanderschutt und Granitblockschuttströme bedecken vor allem in den Niederungen das Anstehende.

Nordwest- bis nordostverlaufende Störungszonen durchsetzen den Nordrand des Weißenstadt-Marktleuthener Granits. In einigen tritt, oft im Zusammenhang mit ausgeprägten Alterationserscheinungen, Uranmineralisation auf.

Die primäre Uranmineralisation steht in engem Zusammenhang mit den jüngsten Phasen der variszischen thermischen Aktivität. Nach der z. Z. herrschenden Auffassung gehört sie der polymetallischen Uranparagenese an (DILL 1985), wobei die Stoffzufuhr in Form hydrothermaler Lösungen erfolgte. Die Bildung der Pechblende und der Sekundärminerale Uranophan und Torbernit ist nach CARL & DILL (1985) in einem Zeitraum von 268 (+51/-48) Ma und 228 ± 23 Ma bei einem gewichteten Mittelwert von 235 ± 21 Ma erfolgt. Eine jüngere Uranophan-Generation ist auf 67 ± 7 Ma vor heute datiert, jedoch ist für diesen Zeitraum weder magmatische Aktivität noch eine Absenkung der Region, welche zu der benötigten Temperatursteigerung hätte führen können, nachweisbar. Möglicherweise wurde zu diesem Zeitpunkt eine von der variszischen Pechblendemineralisation abstammende Sekundärmineralisation gebildet, welche an der Wende Plio-Pleistozän umgelagert und erneut abgelagert worden ist.

Auf die Zufuhr von Uran und Bildung der Pechblende in einem ersten, in bezug auf Uran bedeutendsten Stadium folgten fünf weitere Mineralisationsphasen, in denen neben geringen Mengen an Uran Sulphide, Selenide, gediegen Kupfer sowie Spuren von Gold zum Absatz kamen (DILL & KOLB 1986). Hämatit tritt als Durchläufer in allen Stadien auf, Selenide sind auf die Pechblendemineralisation begrenzt. Die sekundären Uranminerale sind in der jüngsten Phase entstanden. Hauptgangart sind Quarz und Hämatit, daneben finden sich untergeordnet Dolomit, Kalzit, Baryt und Flußspat.

Eine Tiefenzonierung der Pechblende innerhalb des bisher aufgefahrenen Grubengebäudes ist bislang nicht nachgewiesen worden. Pechblende tritt erstmals unterhalb von 140 m, stellenweise intensiv mit Quarz verwachsen, als typisches Ausfällungsprodukt hydrothermaler Lösungen auf. Kupferminerale der Zementationszone werden ebenfalls unterhalb dieses Niveaus gefunden.

Uranophan, das mengenmäßig bedeutendste Uranmineral, wurde sowohl im oberflächennahen Bereich – wahrscheinlich als supogene Bildung – als auch in Bohrlöchern bis 400 m Teufe nachgewiesen. Aus den vorliegenden Daten ist eine eindeutige Aussage, ob supogene oder hydrothermale Prozesse zu dieser Bildung führten, zur Zeit nicht möglich. Saleit kommt als Sekundärmineral typisch supgener Entstehung nur bis zu einer Teufe von 100 m vor.

Zur Entstehung der Uranvererzung bei Großschlöppen wird von DILL & KOLB (1986) folgendes metallogenетisches Konzept vorgelegt: Während des Oberen Proterozoikums wurden im Umfeld, möglicherweise auch innerhalb (BEHR et al. 1980) der Münchberger Gneismasse der „Bunten Gruppe“ angehörende Sedimente in marinem Milieu gebildet. Reduzierende Bedingungen in diesem flachen Ablagerungsraum ermöglichen eine Vorkonzentrierung von Uran in diesen Schichten. Nachfolgende Deformation und Metamorphose führten zu einer Feinverteilung des Urans innerhalb der fertilen Bunten Gruppe. In einer Spätphase der variszischen Orogenese wurden nordwest- bis nordnordweststreichende Störungen angelegt, an denen es weiträumig zur Bildung von Hämatit- und Kupfer-Wismut-Vorkommen kam. Das Auftreten von Uran innerhalb dieser tiefreichenden Zonen ist jedoch auf die Nähe von thermisch aktiven Gebieten, die von günstigen Liefergesteinen unterlagert werden, beschränkt.

## Vererzung

Das Uranexplorationsprojekt Großschloppen wird als bergmännischer Untersuchungsbetrieb geführt, da im Zuge der untertägigen Arbeiten Uranerze gefördert und verwertet werden. Eine Urangewinnung mit wirtschaftlicher Zielsetzung findet jedoch nicht statt.

Die Gangvererzung ist bisher über eine streichende Länge von ca. 150 m und einen Teufenabschnitt bis 195 m unter Gelände durch Bohrungen, Querschläge und Strecken untersucht. Ein ausgedehntes Bohrprogramm weist auf eine Fortsetzung der Mineralisation bis mindestens 450 m unter Flur hin.

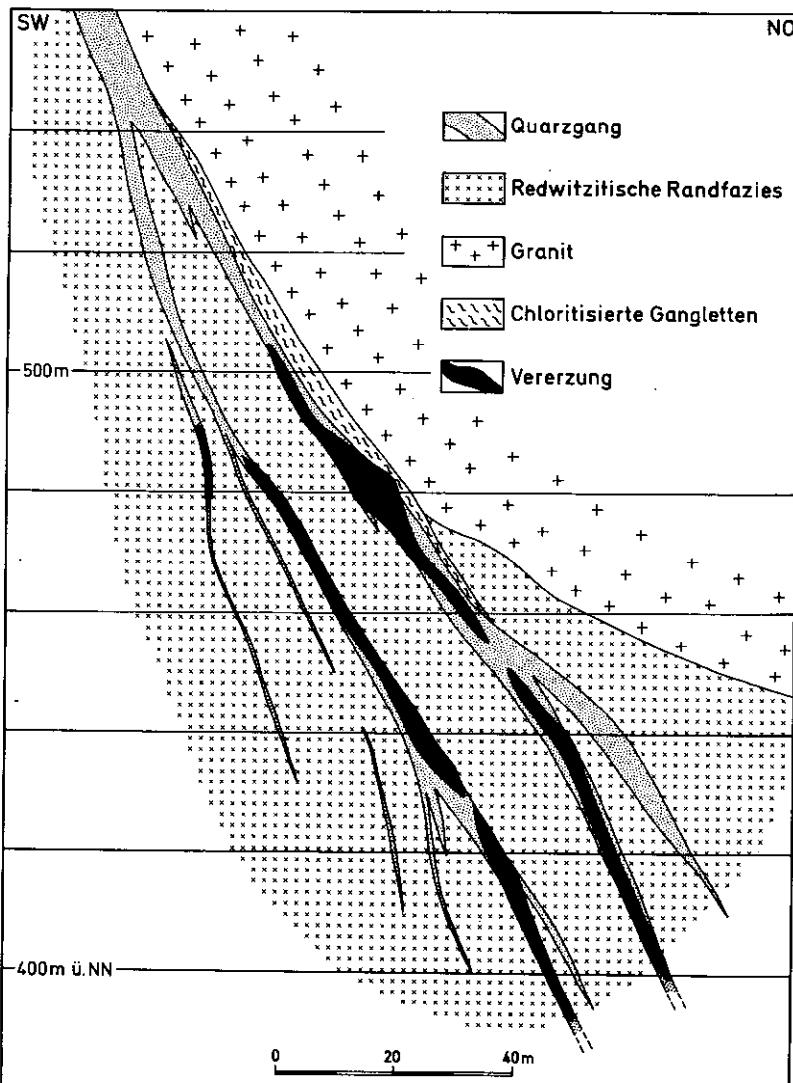


Abb. 3: Profil durch das Gangsystem zwischen den Querschlägen N 1 E 2 und N 1 E 3. – Modifiziert nach MOORE et al. (1983: Abb. 8).

Die Untersuchungsarbeiten ergaben eine sehr uneinheitliche räumliche Verteilung der Mineralisation vorwiegend entlang des Kontaktes vom G 1-Granit zur metamorphen Hülle innerhalb der Redwitzite (Abb. 3). Es wurde ein sehr komplexes Gangsystem von max. 60 m Gesamtmächtigkeit und einer mittleren Streichrichtung von  $143^\circ$  bei einem Einfallen von  $60^\circ$  NE festgestellt (Abb. 4). Die einzelnen Gänge verzweigen und vereinigen sich über kurze Entfernung und sind in ihrer Uranführung sehr absäitzig. Von ca. 20 verschiedenen Gängen sind drei Hauptzonen mehr oder weniger deutlich durch den gesamten bisher bekannten Vererzungsbereich verfolgbar (100-Gang, 150-Gang, 200-Gang), welche die besten Intervalle aufweisen (Abb. 5). Hauptsächlich treten diese entlang der Schnittlinie der nordwest-südoststreichenden Hauptstruktur mit einer spitzwinkelig dazu verlaufenden Nebenstruktur auf. Weitere Vererzungen finden sich auf Fiederklüften innerhalb der Hauptstruktur.

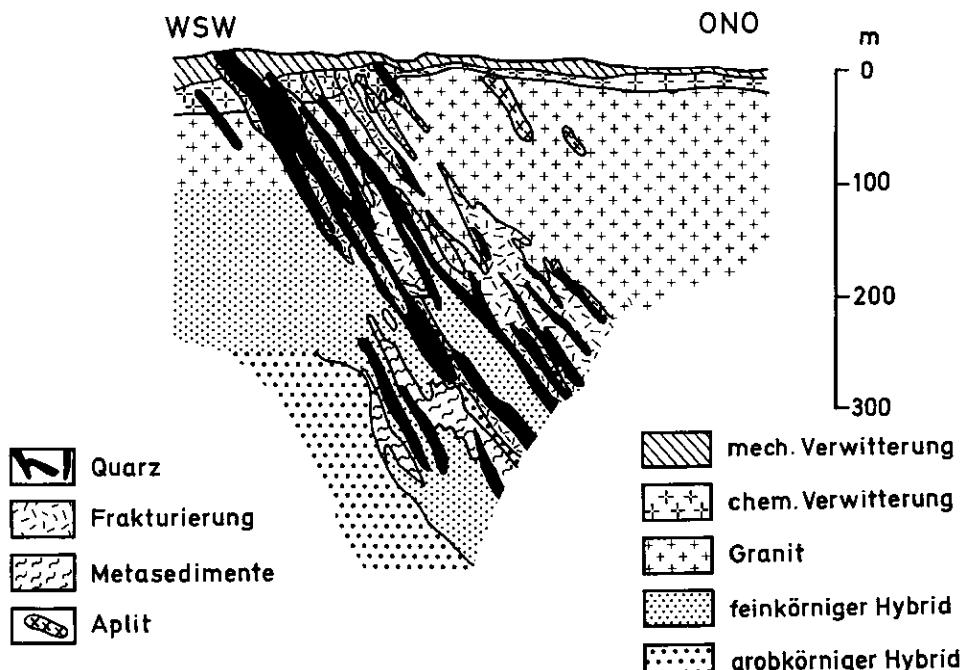


Abb. 4: Querschnitt durch die Großschluppenstruktur. – Aus DILL (1985: Abb. 65).

Durch das übertägige Bohrprogramm ist eine Fortsetzung der Vererzung in Streichrichtung auf insgesamt ca. 1100 m Länge indiziert.

Der derzeitige Untersuchungsstand der Untertageexploration umfaßt ca. 25% der vermuteten Vorräte, die von ihrem Gehalt her für eine Gewinnung in Frage kommen könnten (MOORE et al. 1983).

### Erzbeschaffenheit

Das Erz besteht aus primärer hydrothermaler Pechblende und aus verschiedenen Sekundärmineralen. Diese – in den hangenden Partien wahrscheinlich

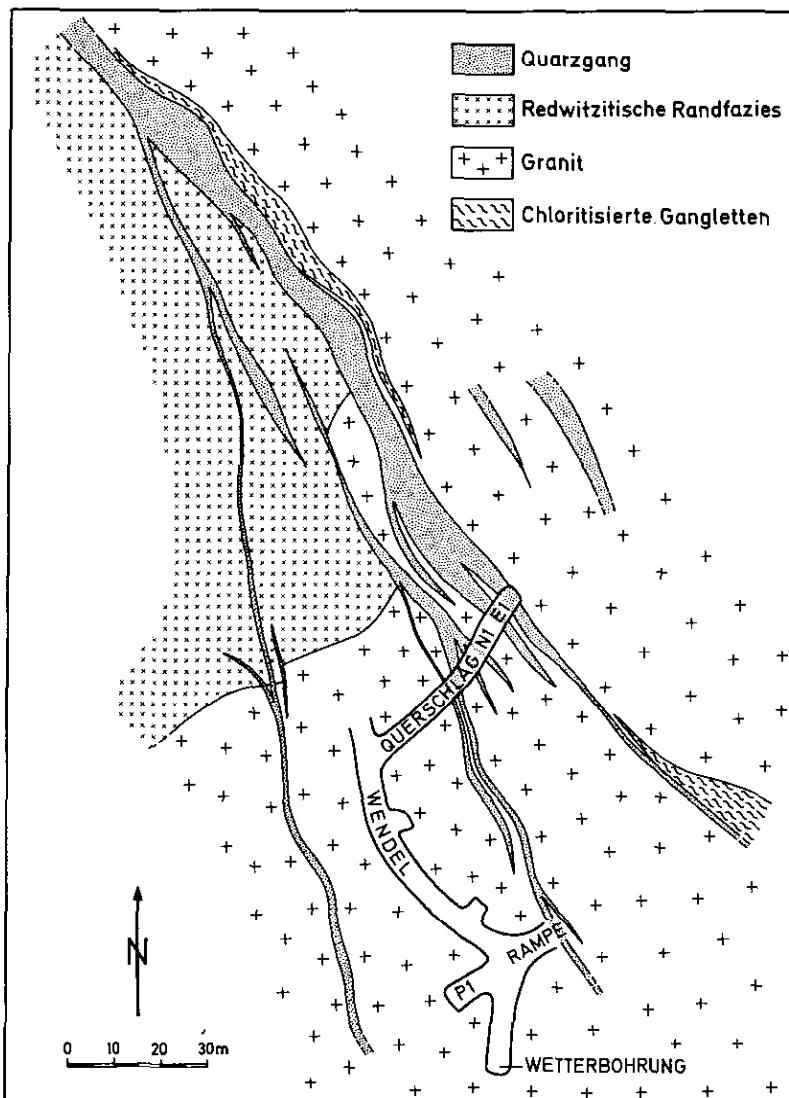


Abb. 5: Gangsystem im Bereich des Rampenendes auf Niveau 500 m ü. NN. – Aus MOORE et al. (1983: Abb. 9.).

supergen gebildeten – Uranminerale sind stellenweise mit der Pechblende vergesellschaftet und finden sich im gesamten bisher explorierten Teufenbereich. Quarz und Hämatit stellen die Hauptgangart dar. Daneben treten, vorwiegend als späte Bildungen, Kalzit und Flußspat auf. Begleitet wird die Uranvererzung im Mylonit der Störungszone von zonal angeordneten hydrothermalen Alterationsmineralen wie Chlorit, Serizit, Kaolin, Hämatit sowie Verquarzung, Verlehmung und Rosafärbung von Feldspäten (DILL & KOLB 1986).

Die unregelmäßige Vererzung auf den einzelnen Gängen ist charakterisiert durch starke Schwankungen der Gehalte. Im Durchschnitt aller angetroffenen vererzten Zonen (Bohrungen und bergmännischer Aufschluß) ergeben sich nach

MOORE et al. (1983) Gehalte von 0,316% eU<sub>3</sub>O<sub>8</sub> über 1,83 m Mächtigkeit, wobei als untere Grenze der Bauwürdigkeit 0,1% U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> über 1,5 m Abbaubreite gefordert wird. Die reichste Partie wurde mit 6,6% eU<sub>3</sub>O<sub>8</sub> über 0,54 m Mächtigkeit, das beste bergmännisch gewinnbare Intervall mit 2,8% eU<sub>3</sub>O<sub>8</sub> über 1,5 m festgestellt.

### Untertägige Explorationstechniken

Der untertägige Aufschluß wurde mit vollhydraulischem Atlas-Copco-Pro-mec-Bohrwagen vorgetrieben. Die Abschlaglänge betrug 2,80 m (bei 3,0 m Bohrlochlänge und ca. 40 Bohrlöchern). Das Laden erfolgte mit GHH-Lader von 3,8 m<sup>3</sup> Schaufelinhalt, die Förderung der Muldenkipper mit 6,6 m<sup>3</sup> Muldenvolumen. Die Länge der Rampe beträgt 520 m (14 m<sup>2</sup> bis 16 m<sup>2</sup> Querschnitt, 14% Steigung), der Wendel 710 m (12 m<sup>2</sup> bis 14 m<sup>2</sup> Querschnitt, 20% Steigung), der Strecken und Querschläge zusammen 280 m bei Querschnitten zwischen 10 m<sup>2</sup> und 12 m<sup>2</sup>. Das gesamte Grubengebäude weist eine Streckenlänge von ca. 1510 m auf (Stand: Ende 1984).

Das Gebirge trägt mit Ausnahme der Störungszonen gut, so daß im allgemeinen das Setzen von Ankern und Verbauen mit Spritzbeton als Sicherungsmaßnahmen genügen. In den stärker durchbewegten Mylonitzonen werden zusätzlich Baustahlmatten eingebaut.

Die Bewetterung erfolgt über ein Wetterbohrloch, das von der Oberfläche zum Ende der Rampe verläuft. Eine Verlängerung führt von dort zum Umbiegen der Wendel in 137 m Teufe. Die Weiterführung der frischen Wetter erfolgt über Luttenleitung (Ø 800 mm), der Luftdurchsatz beträgt 1800 bis 2200 m<sup>3</sup>/min. Die verbrauchten Wetter ziehen über Wendel und Rampe aus.

Der Wasserzulauf in der Grube ist mit 7 bis 12 l/s relativ gering. Das vor allem in Störungs- und Mylonitzonen zutretende Wasser wird untertage gesammelt und dann zur weiteren Behandlung nach über Tage gepumpt. Die kontaminierten Grubenwässer werden in Absetzbecken geklärt und in einer Reinigungsanlage vor Ort nach einem speziell für diese Grubenwässer entwickelten Verfahren soweit von Schwebstoffen und radioaktiven Bestandteilen gereinigt, daß sie den gesetzlichen Vorschriften entsprechen, um in die Vorflut eingeleitet werden zu können.

**Dank:** Für die Überlassung von firmeninternen Daten und von Dokumentationsmaterial sowie für die Erlaubnis zur Veröffentlichung sei der Firma Saarberg Interplan Uran GmbH, Saarbrücken, an dieser Stelle herzlich gedankt. Besonderer Dank gebührt Herrn Dr. J. KUHLMANN für wertvolle Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskriptes sowie den Herren Dr. K. HELMKAMPF und S. KOLB für zahlreiche Diskussionen im Gelände.

### Literatur

- BEHR, H. J., ENGEL, W. & FRANKE, W. (1980): Guide to Excursion no 2 (Münchberger Gneismasse, Bayerischer Wald). – Internat. Conf. on the Effects of Deformation on Rocks: 100 S., Göttingen.
- BERTELE, G. A. (1804): Handbuch der Minerographie. – Landshut.
- BESANG, C., HARRE, W., KREUZER, H., LENZ, H., MÜLLER, P. & WENDT, I. (1976): Radiometrische Datierung, geochemische und petrographische Untersuchungen der Fichtelgebirgsgranite. – Geol. Jb., E 8: 71 S., Hannover.
- CARL, C. & DILL, H. (1985): Age of secondary uranium mineralizations in the basement rocks of northeastern Bavaria, F.R.G. – Chem. Geol. (Isotop. Geosc. Sec.), 52: 295–316, Amsterdam.
- DILL, H. (1985): Die Vererzung am Westrand der Böhmischem Masse. – Geol. Jb., D 73: 3–461, Hannover.
- DILL, H. & KOLB, S. G. (1986): The Großschloppen – Hebanz Uranium occurrences - a prototype of mineralized structure zones charaterized by desilification and silification. – in: Vein type uranium deposits. – Internat. Atom. Energy Agency Techn. Doc., 361: 261–274, Wien.
- GUDDEN, H., SCHMID, H. & CARDOSO, J. (1974): Uran in Bayern. – 605 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MOORE, S. E., KOLB, S. G., MACLEAN, C. J. & ERIKSON JR., A. J. (1983): Underground Geologic Evaluation of the Großschloppen Vein Uranium deposit, West Germany. – Soc. Mining Eng. AIME [preprint]: 1–8, Littleton/Colorado.
- RICHTER, P. & STETTNER, G. (1979): Geochemische und petrographische Untersuchungen der Fichtelgebirgsgranite. – Geologica Bavaria, 78: 1–129, München.
- STETTNER, G. (1964): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000, Blatt Nr. 5837 Weissenstadt. – 194 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).



## Salz und Sole

Von HANS JOACHIM EXLER

Mit 3 Abbildungen, 5 Tabellen und 2 Fotos

Die Salz- und Solevorkommen in Bayern lassen sich regional wie folgt gliedern:

Zechsteinsalinar in Nordbayern

Salinar des Mittleren Muschelkalks in Franken

Alpines Salinar

    Salinar von Berchtesgaden

    Salinar am Dürrenberg (Halleiner Salzberg)

    Salinar des Reichenhaller Beckens

Solevorkommen im Reichenhaller Becken

### Zechsteinsalinar in Nordbayern

Das Zechsteinsalinar, welches in Nordbayern entwickelt ist, erreicht bei Mellrichstadt seine größte Mächtigkeit. In den Jahren 1899–1900 wurde die Bohrung Mellrichstadt bei der Aumühle niedergebracht und durchteufte die Salzfolge mit einer Mächtigkeit von 167 m von 845 m bis 1012 m. Das Salzvorkommen stellt die Fortsetzung des norddeutschen Zechsteins nach Süden dar und gehört in die Werra-Folge (Zechstein Z 1). TRUSHEIM (1964: 49) gibt für das geschlossene Salzlager 139 m und für dessen Gesamtmächtigkeit 158 m an. Ferner hat TRUSHEIM (1964: Beil. 3) für seine Fazieskarte des Zechsteins 1 die neuen Bohrungen wie Eltmann 1 (1960), Rannungen 1 (1956), Volkach 1 (1955), Willmars 1 (1954) und Wüstensachsen 1 (1956) verwendet sowie die Verbreitung und Mächtigkeit des Steinsalzes eingezeichnet.

Das Zechsteinsalz kann in Nordbayern nur als potentielle Reserve angesehen werden, da die Überdeckung von ca. 1000 m Mächtigkeit eine wirtschaftliche Gewinnung z. Z. nicht zuläßt. Dagegen findet schon seit langem eine balneologische Nutzung von Zechsteinsole in Bad Brückenau, Bad Bocklet, Bad Kissingen und in Bad Neustadt/Saale statt. Nähere Einzelheiten über die Nutzung, Quellen und chemische Analysen finden sich bei QUENTIN (1970).

### Salinar des Mittleren Muschelkalks in Franken

Über das mögliche Vorkommen von Steinsalz im Mittleren Muschelkalk in Franken hat THÜRACH (1901) vorwiegend auf Grund tektonischer Überlegungen gearbeitet und Bohrpunkte vorgeschlagen. Seine Vorhersagen wurden durch die Bohrungen Kleinlangheim, Burgbernheim und Schwebheim bestätigt. Die Ergebnisse dieser Bohrungen wurden von REIS (1901) veröffentlicht. Mit diesen

Bohrprofilen hat sich BESTEL (1929) noch einmal beschäftigt und gibt folgende Salzmächtigkeiten an: Burgbernheim I 15,85 m Salz, Burgbernheim II 15,60 m Salz, Bergreinfeld nicht fündig. CRAMER (1964) hat auf Blatt Iphofen folgende Bohrungen veröffentlicht, die von der Königlichen Generaldirektion der Berg-, Hütten- und Salzwerke abgeteuft wurden: Kleinlangheim 1 (1899), Kitzingen I (1911), Kitzingen II (1911), Kitzingen III (1911) und Kitzingen IV (1911). Später wurden von der Bayer. Berg-Hütten- und Salzwerke AG (BHS) Kleinlangheim 2 (1955), Großlangheim (1955) und Atzenhausen (1955) niedergebracht. Neue Tiefenaufschlüsse wurden von CRAMER (1965) aus der Gegend von Bad Windsheim bearbeitet und eine Karte (CRAMER 1965: Abb. 5) veröffentlicht, in welcher unter anderem die Lage der Bohrungen eingetragen und die Tiefenlinien der Salzbasis eingezeichnet wurden. TRUSHEIM (in EMMERT 1969: 19–24) hat das Profil der Erdölbohrung Windsheim 1, die vom Konsortium Mobil Oil AG/ Gew. Brigitta 1957/58 abgeteuft wurde, beschrieben. Ein Kurzprofil findet sich bereits bei CRAMER (1965).

Die Nutzung des Salzvorkommens im Mittleren Muschelkalk beschränkt sich auf eine balneologische Nutzung von Sole in Bad Windsheim. Die Bohrungen liegen auf den topographischen Karten 1:25 000, Blatt 6428 Bad Windsheim und Blatt 6528 Marktbergen. Es handelt sich dabei um die Solequelle, Kiliansquelle, Alte St.-Anna-Quelle, Neue St.-Anna-Quelle, Diana-Quelle und die Florians-Quelle, deren Nutzung einschließlich der chemischen Analysen bei QUENTIN (1970) beschrieben wurde. Lediglich die Bohrung Solequelle hat 1907 das Salzlager erreicht. Ein geologisches Profil ist nicht mehr auffindbar. Ihre Endteufe betrug 157,60 m. ARNDT (1933: 49) nimmt an, daß die Solebohrung das Salzlager bei 157,5 m gerade noch angefahren hat. Die Solebohrung mußte

Tabelle 1: Die Salzbohrungen im Mittleren Muschelkalk Frankens

	Burgbernheim 1	Burgbernheim 2	Burgbernheim 3	Schwebheim 2	Marktbergen	Ottendorf	Windsheim-Külsheim	Windsheim 1
Geol. Kt. 1:25 000	6527 Burgbernheim	6528 Marktbergen					6428 Windsheim	
R	3 595 870		3 596 720	3 597 520	3 597 570	3 598 400	3 601 700	3 604 900
H	5 482 330		5 481 660	5 483 890	5 479 370	5 481 950	5 487 360	5 485 850
Höhe über NN (m)	325,60	*)	324,60	319	347,80	322,70	315	304
Endteufe (m)	190,00		181,10	166,58	157,60	165,10	171,0	894,2
Jahr	1899	1899	1955	1899	1955	1955	1976	1958
Mächtigkeit (m):								
Ob. Steinsalz	2,1		0,80	1,45	–	3,15	2,60	–
Zwischensalz	3,5	*)	1,50	–	–	–	–	–
Unt. Steinsalz	8,8		11,55	14,28	2,25	7,70	11,40	6,00
Summe	14,4	15,60	13,85	15,73	2,25	10,85	14,00	6,00

\*) Koordinaten und geologisches Profil nicht mehr auffindbar.

\*\*) An der Basis des Unteren Steinsalzes sind bei 171 m an einer Störung etwa 15 m Salz ausgefallen.

wegen des schlechten Zustandes der Verrohrung saniert werden. Da aber bei hohem Kostenaufwand der Erfolg nicht sicher war und man außerdem mit nicht vorhersehbaren Bergschäden rechnen mußte, teufte der Zweckverband Kurzentrum Bad Windsheim 1976 bei Külsheim eine neue Bohrung ab, deren Profil von CRAMER 1976 bearbeitet, aber nicht mehr veröffentlicht wurde. CRAMER gibt für diese Bohrung folgendes Kurzprofil an:

Geol. Kt. 1:25 000, Blatt Nr. 6428 Bad Windsheim

R 36 01 700

H 54 87 360

Höhe über NN 315 m

12. 2. – 27. 4. 1976

0–ca. 1,5 m Mittlerer Keuper

–ca. 33,0 m Unterer Keuper

– 97,4 m Oberer Muschelkalk

– 171,0 m Mittlerer Muschelkalk

(E.T.) 146,4–149,0 m Oberes Steinsalz (2,60 m)

149,0–149,8 m Zwischenanhidrit (0,80 m)

149,8–161,2 m Haupt-Steinsalz (11,40 m)

Eine detaillierte Profilbeschreibung dieser Bohrung liegt im hydrogeologischen Archiv des Bayrischen Geologischen Landesamtes.

In Tabelle 1 wurden alle Bohrungen, die Salz im Mittleren Muschelkalk erbohrt haben, zusammengestellt. Die einzelnen Profile finden sich im Abschnitt „Bohrprofile“ der entsprechenden Erläuterungen zu den Geologischen Karten 1:25 000 von CRAMER (1964), EMMERT (1969), HAUNSCHILD (1969, 1971). Einige ältere Bohrungen wurden von CRAMER (1964, 1965) überarbeitet.

### Fortsetzung der Tabelle 1

Kitzingen IV	Kitzingen III	Kitzingen I	Kitzingen II	Großlangheim	Atzenhausen	Kleinlangheim 1	Kleinlangheim 2
6227 Iphofen							
3 584 420	3 585 520	3 586 680	3 589 370	3 589 710	3 592 350	3 592 500	3 593 050
5 514 350	5 313 770	5 512 960	5 512 440	5 515 440	5 517 250	5 516 360	5 514 940
188,76	193,04	202,50	227,26	213,05	215,50	224	226,75
191,30	184,50	197,00	210,40	183,15	178,50	324,78	215,30
1912	1911	1911	1911	1955	1955	1899	1955
13,10	10,50	5,00	5,20	8,70	8,20	8,62	8,55
2,60	3,60	4,00	2,50	2,30	2,33	3,65	2,55
19,30	15,50	14,30	10,70	11,30	1,20**) )	16,85	14,10
35,00	29,60	23,30	18,40	22,30	11,73	29,12	25,20

## Alpines Salinar

In Bayern finden sich im alpinen Salinar Salzvorkommen in Berchtesgaden, westlich des Dürrenbergs und im Reichenhaller Becken. Die Salzvorkommen liegen heute nicht mehr am Ort ihrer Entstehung, sondern sind durch tektonische Bewegung an ihre heutigen Standorte überschoben worden. Das salzführende Haselgebirge ist ein Schichtglied der Hallstätter Zone. Das Salinar des Halleiner (Dürrenberg) und Berchtesgadener Salzberges liegt in tiefen Teilmulden der tirolischen Gesamtmulde (MEDWENITSCH 1961: 468). Auf diese tiefjuvavische Hallstätter Zone wurde die hochjuvavische Berchtesgadener Schubmasse aufgeschoben. Dabei unterscheidet MEDWENITSCH (1961) im Tiefjuvavikum eine untere und eine obere Hallstätter Decke. SCHAUBERGER & ZANKL (1976: 560–564) beschreiben die tektonischen Situationen des Salzvorkommens von Bad Reichenhall ähnlich. Das Tirolikum als liegende tektonische Einheit umfaßt eine Schichtenfolge von Untertrias bis Unterkreide in bayerisch-tirolischer Fazies. Die hangende hochjuvavische Einheit ist in Berchtesgadener Fazies entwickelt. Dazwischen liegt der tiefjuvavische Anteil der Hallstätter Triasfazies mit der permotriadischen Salzlagerstätte. Eine altersmäßige Einstufung der Salzvorkommen war lange Zeit nicht möglich, weil bisher im Salz keine Fossilien gefunden wurden. SCHAUBERGER (1979: 459) berichtet, daß seit der Entdeckung von Mikrosporen und Arbeiten von W. KLAUS (Wien) eine Einstufung der Hallstätter Salzlagerstätte in das Oberperm möglich ist, während in den Salzkernen der Reichenhaller Bohrungen neben umgelagerten Sporen des Perm auch solche gefunden wurden, die für Skyth typisch sind.

Das Salz im alpinen Salinar wird als Haselgebirge bezeichnet und stellt eine innige Durchmischung von Salz mit Nebengesteinskomponenten dar. Die Durchmischung mit klastischen Sedimenten kann soweit gehen, daß der Durchschnittsgehalt einer Lagerstätte auf 30% NaCl absinkt. SCHAUBERGER (1979: 456) unterscheidet beim Haselgebirge eine primär-sedimentäre Entstehung, bei der es sich um eine Einschüttungsbrekzie (salinarer Fluxoturbidit) handelt, wie z. B. das Grüne und das Bunte Haselgebirge, und eine fluidaltektonische Entstehung. Nachdem die einzelnen Komponenten Salz, Ton und Anhydrit als Wechsellagerung sedimentiert wurden, wurde der Verband durch spätere Bewegungen des plastischen Salzes zerstört und die übrigen Komponenten in Blockfelder aufgelöst. Diese Deutung ersetzt die frühere Vorstellung einer rein-tektonischen Entstehung des Haselgebirges.

## Salinar von Berchtesgaden

### Verbreitung und Gliederung

Die Salzvorkommen liegen nach SCHAUBERGER (1979) in einer nicht zusammenhängenden Zone der nördlichen Kalkalpen, die sich von Hall in Tirol (im Westen) über Reichenhall-Berchtesgaden-Hallein, Ischl-Bad Aussee und Hallstatt bis nach Wien im Osten erstreckt. In seiner heutigen Ausbildung wird das salzführende Gestein als Haselgebirge bezeichnet und besteht aus einem Gemenge von Steinsalz, untergeordnet Nebensalzen, Ton, Mergel, Anhydrit, Polyhalit und auch anderen Komponenten. Diese sind scheinbar in schichtungsloser Folge angeordnet.

SCHAUBERGER (1967) hat auf der Basis jahrelanger Profilaufnahmen aller österreichischen Salzlagerstätten sowie des Berchtesgadener Vorkommens eine Gliederung in

Rotsalzgebirge

Grün Tongebirge

Grausalzgebirge

Buntes Salztongebirge oder Buntes Haselgebirge

erarbeitet. Nach der Salzführung werden in Berchtesgaden folgende Salzgesteinstypen unterschieden (AMBATIELLO 1981):

Kernsalz	90% NaCl
Kerngebirge	60–90% NaCl
Haselgebirge	20–70% NaCl
Blättersalzgebirge	33–35% NaCl
Anhydritische Salztonbreccie	25% NaCl

### Geschichte und Besitzverhältnisse

Die Geschichte und Besitzverhältnisse vom Salzbergwerk mit den dazugehörenden Salinen wird von AMBATIELLO (1982: 1183) beschrieben und hier nur in Stichpunkten wiedergegeben.

12. Jahrhundert	Beginn des Salzbergbaus
13. 7. 1156	Kaiser Friedrich I. Barbarossa verleiht dem Stift Berchtesgaden u. a. das Salz- und Bergregal
1190	Salzbergbau am Golmbach
1191	Salzbergbau am Tuval
1213	Saline Schellenberg urkundlich erwähnt
1517	Gründung des Salzbergwerks Berchtesgaden mit dem Anschlagen des Petersberg-Stollens durch Fürstprobst Georg Rainer
1555	Gründung der Saline Frauenreith in Berchtesgaden
1803	wird Berchtesgaden dem Großherzogtum Toscana zugeschlagen
1805	wurde Berchtesgaden österreichisch und die Saline Schellenberg wird geschlossen
1810	Berchtesgaden wird bayerisch. Der Salzbergbau und die Saline werden in die Königl. General-Bergwerks- und Salinenadministration eingegliedert
1811	1. Soleleitungsbau nach Reichenhall (mit Holzrohren)
1927	Auflösung der Saline Frauenreith
1927	Gründung der Bayerischen Berg-, Hütten- und Salzwerke AG
1961	Doppelsträngige Soleleitung nach Reichenhall

Im Laufe der Geschichte brandete der Streit um das Salz und die Salinen von Berchtesgaden immer wieder auf. Je nach politischer Lage versuchten Salzburg oder die Bürger von Reichenhall ihren Einfluß geltend zu machen und die Besitzverhältnisse zu ihren Gunsten zu ändern. Im Jahr 1927 wurden das Salzbergwerk und die noch bestehenden Salinen, die seit 1810 der Königlichen General-Bergwerks- und Salinenadministration unterstanden, in die neu gegründete Bayerische Berg-, Hütten- und Salzwerke AG (BHS) eingebracht. Alleinaktionär dieser Gesellschaft ist der Freistaat Bayern.

## Salzbergwerk Berchtesgaden

Das Salzvorkommen besitzt eine SW-NO-Erstreckung von ca. 4,5 km und in NW-SE-Richtung eine Breite von 1,5 km. Sichere Vorräte sind bis 300 m unter der Talsohle nachgewiesen. Die Basis der Salzvorkommen dürfte aber vermutlich bis 600 m unter die Talsohle reichen (AMBATIELLO 1982: 1184).

Das Haselgebirge mit seinen Einschlüssen von Ton, Gips, Anhydrit, Polyhalit usw. ist für eine bergmännische Gewinnung nicht geeignet. Für eine wirtschaftliche Gewinnung dieser heterogenen Lagerstätte kommt nur der sog. „nasse Abbau“ in Frage. Das Salz muß mittels Süßwasser aus dem übrigen Gesteinsverband herausgelöst und in eine konzentrierte Salzlösung (Sole) überführt werden. Bauwürdig sind nur solche Haselgebirgspartien, die einen Mindestgehalt von 35% bis 38% NaCl besitzen.

Bis zum Jahr 1975 erfolgte die Solegewinnung im Sinkwerkverfahren. Die Vorbereitung dafür erfolgte durch das bergmännische Auffahren von Sinkwerkskammern. Ausgehend von einer Richt- und Querstrecke wurde zu diesem Zweck die Strecke zum Ankehrschaft (Ankehrsachtricht) des Sinkwerks auf dem Niveau der vorgesehenen Laugungsobergrenze vorgetrieben. Von hier wurde dann in der Mitte des späteren Sinkwerks der 30 m tiefe Ankehrschaft (entspr. der Abbauhöhe) mit einem Durchmesser von 2,2 m abgeteuft. Die Sohle des Schachtes wurde zur Sinkwerkskammer mit einer Grundfläche von 35 m × 60 m und einer Höhe von 2 m bergmännisch erweitert.

Die Laugung und Entwicklung des Sinkwerks erfolgt in zwei Abschnitten, der ersten intermittierenden Wässerung und später als kontinuierliche Solegewinnung. Bei der intermittierenden Wässerung wird das Sinkwerk langsam mit Wasser gefüllt. Dadurch wird erreicht, daß die Stöße (Ulmen) unter einem Winkel von 30° bis 45° angeschnitten werden und sich gleichzeitig die Fläche des „Himmels“ vergrößert. Die unlöslichen Gesteinskomponenten sinken als „Laist“ während des Lösungsvorgangs auf den Boden des Sinkwerks. Wenn die Sole gesättigt ist (26,5% entspr. 320 kg NaCl/m<sup>3</sup>), wird das Sinkwerk entleert und sofort wieder mit Süßwasser gefüllt. Je nach NaCl-Gehalt des Gebirges werden für einen Laugungsvorgang 25–30 Tage benötigt. Wenn der Himmel, der ursprünglich eine Fläche von 2000 m<sup>2</sup> hatte, auf 3000 m<sup>2</sup> bis 3200 m<sup>2</sup> vergrößert wurde, kann auf die kontinuierliche Solegewinnung übergegangen werden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Süßwasser in der Höhe des Himmels kann 2 m tiefer über eine Pumpe vollgrädige Sole abgezogen werden. Bei diesem Verfahren schreitet der Abbau täglich um ca. 1 cm nach oben fort. Man rechnet damit, daß die Lebensdauer eines Sinkwerks etwa 10 Jahre beträgt und in dieser Zeit bei einem NaCl-Gehalt von 50% etwa 300 000 m<sup>3</sup> gestättigte Sole erzeugt werden.

Seit 1975 wurde die Solegewinnung auf Bohrspülwerke umgestellt. Der Raum für ein Bohrspülwerk beträgt etwa 160 m × 120 m bei einer Höhe von 120 m. Nach Auffahren der Abbaustrecke und der Bohrkammer wird zur Erkundung der geologischen Verhältnisse eine 125 m tiefe Kernbohrung abgeteuft und zwar 2,5 m neben dem Ansatzpunkt der Hauptbohrung. Diese wird dann mit einem Durchmesser von 670 mm, ebenfalls bis 125 m niedergebracht. Auch bei der Solegewinnung mit Bohrspülwerken wird zuerst mit einer inter-

mittierenden Laugung begonnen. Erst wenn die erforderliche Raumgröße erreicht ist, kann das Bohrspülwerk auf kontinuierliche Laugung umgestellt werden. Bei einer nutzbaren Abbauhöhe von 100 m rechnet man mit einer Lebensdauer von ca. 30 Jahren für ein Bohrspülwerk und mit einer Gesamtförderung von etwa 1 100 000 m<sup>3</sup> gesättigter Sole. Eine detaillierte Beschreibung der Einrichtung, des Betriebes und der Erfahrungen mit Bohrspülwerken im Salzbergwerk Berchtesgaden findet sich bei AMBATIELLO (1981).

### Salinar am Dürrenberg (Halleiner Salzberg)

Nördlich des Salzvorkommens von Berchtesgaden findet sich eine weitere Salzlagerstätte, die sich über die Landesgrenze nach Österreich in den Dürrenberg fortsetzt und von Hallein aus abgebaut wird. Das Recht der Österreichischen Salinenverwaltung, Salz auf bayerischem Gebiet abzubauen, beruht auf einem Staatsvertrag zwischen Bayern und Österreich, der Salinenkonvention aus dem Jahre 1829. Darin war festgelegt, daß Österreich auf ewige Zeiten das Recht hat, in einem Grubenfeld in Bayern Salz abzubauen. Dafür hatte Bayern das Recht auf ewige Zeiten, Holz in den sog. Saalforsten zu schlagen und zollfrei nach Bayern auszuführen. Durch den Anschluß Österreichs an das Deutsche Reich wurde die Salinenkonvention gegenstandslos. Nach Kriegsende wurde sie in geänderter Form 1958 durch einen Staatsvertrag neu geregelt. Noch heute existieren die drei bayerischen Forstämter Leogang, St. Martin und Unken. Der dazu gehörende Grundbesitz ist Eigentum des Freistaates Bayern.

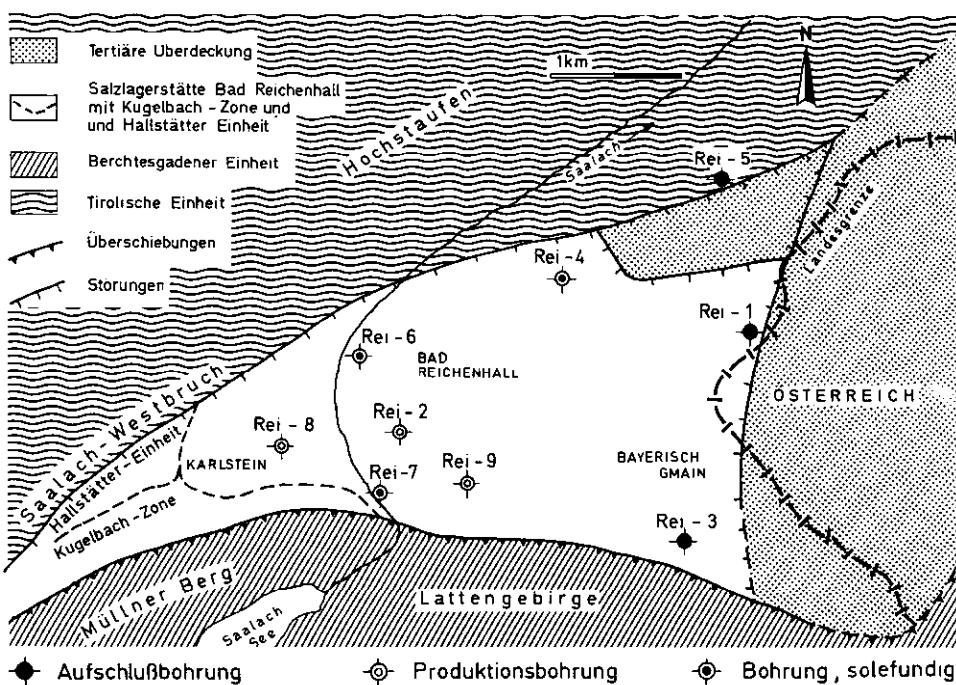


Abb. 1. Lageplan der Tiefbohrungen im Reichenhaller Becken. – Geologie nach SCHAUBERGER & ZANKL (1976).

Die geologische Bearbeitung des bayerischen Anteils dieses Vorkommens erfolgte in Zusammenhang mit dem Halleiner Salzberg (Dürrnberg) durch österreichische Geologen MEDWENITSCH (1961) und SCHAUBERGER (1979).

### Salinar des Reichenhaller Beckens

In den Jahren 1968 bis 1972 wurden von der Bayerischen Berg-Hütten-und Salzwerke AG (BHS) neun Bohrungen niedergebracht, um das Reichenhaller Becken auf Salz und mögliche Soleführung zu untersuchen. 4 Bohrungen haben das Salz erreicht (REI 1, 4, 6 und 7), weitere 4 Bohrungen waren nicht fündig (REI 2, 5, 8 und 9). In der Bohrung REI 3 wurde lediglich eine Salzschuppe von 32,5 m Mächtigkeit von 147 m bis 179,5 m durchteuft.

*Tabelle 2: Die Salz- und Solebohrungen von Bad Reichenhall  
(Gradabteilungsblatt Nr. 8243/8244 Bad Reichenhall)*

Bohrung	Koordinaten		Salzlager erbohrt in m NN	Geländehöhe in m ü. NN	Endteufe in m
	Rechtswert	Hochwert			
Rei 1	45.68.261	52.88.510	+ 144	502,20	677,6
Rei 2	45.65.564	52.87.737	–	469,86	542,0
Rei 3	45.67.771	52.86.902	(– 147)	549,50	876,4
Rei 4	45.66.732	52.88.733	– 31	463,30	1200,2
Rei 5	45.67.799	52.89.552	–	467,50	326,1
Rei 6	45.65.231	52.88.128	– 275	466,77	884,0
Rei 7	45.65.521	52.87.246	– 73	471,71	750,0
Rei 8	45.64.721	52.87.410	–	467,43	578,0
Rei 9	45.66.069	52.87.171	–	501,36	523,5

Die Bohrungen wurden von SCHAUBERGER & ZANKL (1976) bearbeitet. Im Gegensatz zu der Salzentwicklung von Berchtesgaden, Hallein und Hallstatt sind im Reichenhaller Becken nur „Buntes Salztongebirge“ und „Anhydritisches Grausalzgebirge“ entwickelt. Der bedeutende Anteil an Anhydrit und dolomitischem Anhydrit ist ebenfalls charakteristisch für die Ausbildung des Salinars im Reichenhaller Becken. Es handelt sich hier um eine spezielle Entwicklung, die als Reichenhaller Salzfazies bezeichnet werden kann. Die unterschiedliche Salzentwicklung in Reichenhall, Berchtesgaden und Dürrnberg/Hallein zeigt die von SCHAUBERGER & ZANKL (1976: 576) veröffentlichte Tabelle der prozentualen Anteile der Salzgebirgsarten wie folgt:

*Tabelle 3: Salzgebirgsarten*

	Rotsalz- gebirge	Grünton- gebirge	Grausalz- gebirge	Buntes Salzton- gebirge	Anhydrit und Anhydrit- Dolomit
Reichenhaller Salinar (REI 1, 4, 6, 7)	–	–	23%	39%	38%
Berchtesgaden	30%	47%	–	18%	5%
Dürrnberg/Hallein	30%	47%	2%	14%	7%

Aufgrund palynologischer Untersuchungen sowie Untersuchungen der Schwefelisotopenverhältnisse an einigen Kernen der Aufschlußbohrungen dürfen das Salz dem Oberperm und die Anhydritgesteine der Trias (Skyth/Anis) altersmäßig zugeordnet werden.

Das Reichenhaller Salzvorkommen kann z. Z. nur als potentielle Salzreserve für die Zukunft betrachtet werden. Wegen seiner Tiefenlage und der Ausbildung des Salzes ist vorerst mit weiteren Untersuchungen nicht zu rechnen. Für eine Gewinnung von Sole durch Bohrspülwerke fehlen auch Voraussetzungen wie z. B. die erforderlichen Wassermengen für die Laugung und die Vorflut für die schwachgrädige Sole.

## Solevorkommen im Reichenhaller Becken

### Geschichtlicher Überblick

Am Ende der Eiszeit bildete sich im Reichenhaller Becken ein Salzsee, der von Schmelzwässern und Solequellen, die am Grunde des Sees austraten, gespeist wurde. Er entwässerte nach Norden. Im Laufe der geologischen Entwicklung wurden zuerst Seetone, später sandige Tone, Feinsande und schließlich die Saalachschotter abgelagert. Dadurch wurde ein Teil der Zuflüsse durch die Sedimentation abgedeckt. Übrig blieben einige Quellen und Quellsümpfe an der Stelle des heutigen Quellenbaus (EXLER 1979 a, b).

Seit etwa 4000 Jahren sind im Reichenhaller Becken Austritte von Sole bekannt und wurden seit einiger Zeit ununterbrochen genutzt (HOFMANN 1979). Heute ist der oberirdische Abfluß von Sole auf den Quellenbau von Bad Reichenhall beschränkt. Die Quellen liegen in einer Tiefe von 13 m bis 15 m. Das Vorkommen ist seit 1937 durch ein Heilquellenschutzgebiet geschützt. In den Jahren 1507 bis 1509 wurde von ERASMUS GRASER der ehemalige Holzschatz durch Marmorquader verbaut und die Solequelle in Marmor gefaßt. Im Zuge weiterer bergmännischer Erschließung des Solevorkommens wurde im Jahre 1799 die 24%ige Karl-Theodor-Quelle entdeckt. Nach dem Stadtbrand von 1834 erfolgte von 1849 bis 1851 der Wiederaufbau der vernichteten Sudhäuser, des Hauptbrunnhauses mit der Salinenkapelle und auch eine Neufassung der Solequellen.

Die Sole- und Salzvorkommen von Reichenhall und Berchtesgaden wurden bereits mehrfach beschrieben, u. a. von GILLITZER (1914) und HARTMANN (1933). Aufgrund der z. T. unterschiedlichen Salzkonzentration hatte man erkannt, daß ein Teil der Solequellen Mischwässer darstellen, die aus vollgrädigem, auf Klüften des Reichenhaller Kalkes (Werfener Schichten) aufsteigender Sole und oberflächennahen Grundwässern der Gmainer Hochfläche zusammengesetzt sind. Eine Darstellung der Entstehung der Reichenhaller Solequellen gibt GILLITZER (1914), die von HARTMANN (1933) übernommen wird. GILLITZER (1914) führt sie auf natürliche Sinkwerke im Haselgebirge der Hallstätter Zone zurück, die in einer Tiefe von 300 m bis 400 m unter dem Quellenaustritt, d. h. unter dem Quellenbau zu suchen sind. Das für die Laugung notwendige, unter Druck stehende Süßwasser vermutet er in den mächtigen Dolomiten des Latten-

gebirges. Er rechnet also mit einem relativ eng begrenzten Raum, in dem sich die Solebildung vollzieht. Außerdem leitet er aus der Tatsache, daß früher die Temperatur der Edelquelle einmal höher war, die Vermutung ab, daß im Laufe der Zeit der Laugungsraum aus tieferen Horizonten nach oben verlegt wurde. Das entspricht den Gegebenheiten eines Sinkwerkes in dem die Laugung im Haselgebirge von unten nach oben fortschreitet, weil die unlöslichen Bestandteile (der Laist) nach unten sinken und dadurch eine weitere Laugung an der Sohle des Sinkwerks unterbinden.

Im Laufe der Zeit hat es immer wieder Störungen gegeben, die sich nachteilig auf die Solequellen auswirken und zwar Änderung der Temperatur sowie Verängerung des NaCl-Gehaltes, der Schüttung und der Auslaufhöhe. Für diese Störungen gibt es unterschiedliche Gründe:

Ein Teil dieser Störungen ist klimatisch bedingt, d. h. direkt von Niederschlägen bzw. von der Schneeschmelze abhängig. Der Bau des Saalachkraftwerkes (1911) bewirkte die bis dahin stärksten bekannten Veränderungen der Solequellen bezüglich Schüttung und NaCl-Konzentration. Durch die Gründung des Staudamms wurde der Grundwasserstrom des Saalachtals unterbrochen. Das Oberflächenwasser wird durch einen Stollen in das Kraftwerk geleitet. Von dort fließt es in einem Kanal weiter flußabwärts wieder in die Saalach. Dadurch liegt auch ein Teil der Saalach trocken. Man hatte damals nicht erkannt, daß in diesem Abschnitt ein Mindestabfluß als Auflage durch den Betreiber des Kraftwerkes hätte garantiert werden müssen. Die Folge davon ist eine dauernde Tieferlegung des Grundwasserspiegels, der nur selten (bei Hochwässern der Saalach) kurzfristig angehoben wird. Hydraulisch bedeutet diese Veränderung des Grundwasserspiegels eine Tieferlegung der Vorflut, sowohl für die vollgrädige Sole als auch für das oberflächennahe Grundwasser der Gmainer Hochfläche. Durch den fehlenden Gegendruck des Grundwassers kann jetzt Sole aus einem tieferen Niveau des Reichenhaller Kalkes in stärkerem Maße ausfließen, als das früher unter Grundwasserbedeckung möglich war. Dadurch ging die Schüttung der höherliegenden vollgrädigen Solequellen zurück. Bei den Mischwässern änderte sich deshalb die Konzentration entsprechend. So ging z. B. die Schüttung der hochprozentigen Edelquelle von 2 Röhrl (40 m<sup>3</sup>/d) auf 0,2 Röhrl (4 m<sup>3</sup>/d) zurück. Auch der Süßwasseranteil verringerte sich durch die Tieferlegung der Vorflut. Die Klammquelle, die sauren Stollenwässer und der Grabenbach-Ursprung gingen stark zurück oder versiegten ganz.

In den sechziger Jahren wurde ein weiterer Rückgang der Soleschüttung im Quellenbau festgestellt, dessen Ursachen nicht geklärt sind. Es dürfte sich aber um eine Abnahme des Drucks im Grundwasserleiter handeln, nicht aber um eine Erschöpfung der Salzvorräte. Sonst hätte man nicht relativ viel und alte Sole durch Bohrungen erschließen können, die mit dem Solevorkommen im Quellenbau in hydraulischem Zusammenhang steht. Aller Wahrscheinlichkeit nach haben sich langfristige Veränderungen im Einzugsgebiet bemerkbar gemacht, die auf ein Absinken des Karstwasserspiegels im Lattengebirge zurückgeführt werden müssen. Hinweis dafür die über eine sehr lange Zeit beobachtete Temperaturabnahme der Sole sein, die darauf hindeutet, daß die im Laufe der Zeiten im Quellenbau geförderte Solemenge ständig zurückgegangen ist. Je geringer die natürliche Förderung wurde, desto mehr ging auch die Temperatur

infolge der Abkühlung während des verlangsamten Aufstiegs im Grundwasserleiter zurück. Und das wiederum kann nur auf eine Änderung des Differenzdruckes zwischen dem Einzugsgebiet (Karstwasserspiegel des Lattengebirges) und dem Austrittsort der Sole (Quellenbau) beruhen.

In neuester Zeit konnte noch eine weitere Störung der Solequellen, nämlich ein zusätzliche Abnahme der NaCl-Konzentration, durch die Förderung der Solebohrungen REI 9 und REI 2 beobachtet werden. Durch die Soleförderung bildet sich ein Druckgefälle des Sole-Druckspiegels aus, der sich wie ein Absenktrichter auswirkt. Sobald dieser Absenktrichter den Quellenbau erreicht, beobachtet man zunächst bei den höher gelegenen Solequellen eine Abnahme des NaCl-Gehaltes. Werden die Förderraten erhöht, dann reagieren auch die tiefergelegenen Solequellen entsprechend.

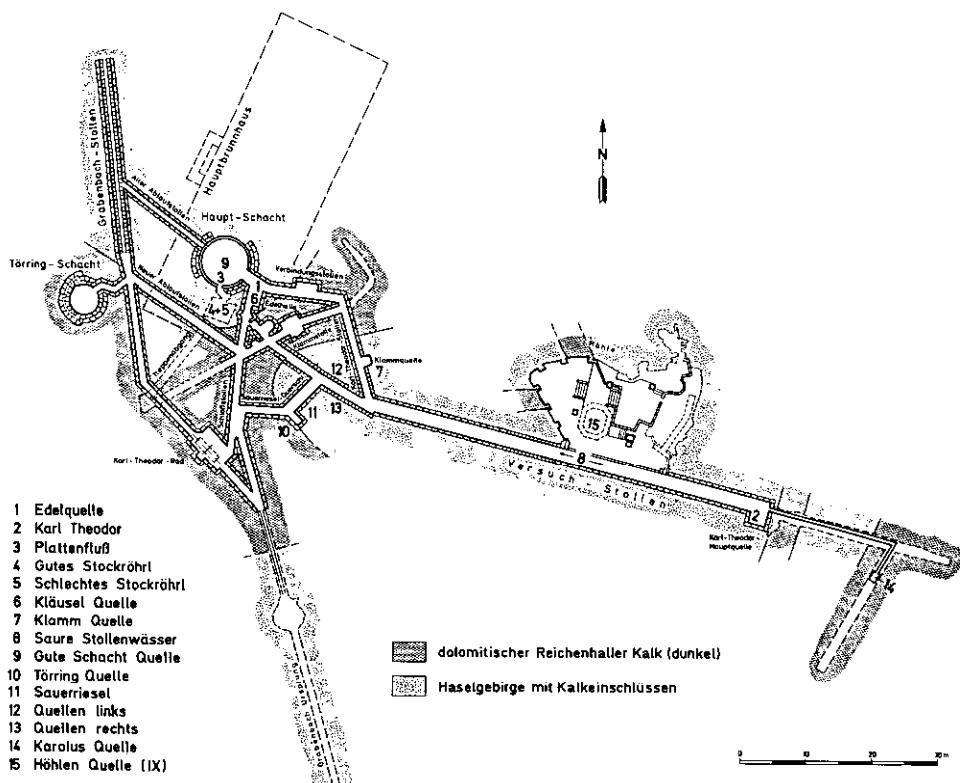


Abb. 2. Lageplan der Solequellen im Quellenbau. – Nach Unterlagen der BHS.

Die im Quellenbau austretenden Wässer wurden bis zum Beginn der Soleförderung aus den Bohrungen REI 2, REI 8 und REI 9 wie folgt gegliedert:

#### Zone der gesättigten Sole

Hier handelt es sich um die sogenannte siedewürdigen Quellen (Edelquelle, Karl-Theodor-Quelle und Plattenfluß).

*Tabelle 4: Die wichtigsten Solequellen des Quellenbaus  
z. T. nach HARTMANN (1933)*

Nr.	Name der Quelle	Höhe in m ü. NN	NaCl-Gehalt %	g/l	Temp. °C	Temp. °C Jan. '78	Röhrl/d	Schüttung m³/d	l/s
Zone der gesätt. Solen siedewürdig									
1	Edelquelle*)	458,50	22–25	264–300	12,0	8,0	2,0	40	0,462
		459,00					0,2–1	4–20	0,046–0,231
2	Karl Theodor**)	456,65	22–24	264–288	13,0	9,5	4,5	90	1,041
3	Plattenfluß	457,81	15–24	180–288	9,5–10	8,5	1,0	20	0,231
Zone der Mischwässer gradierfähig									
4	Gutes Stockröhrl	458,16	6,0	72	10	8,5	0,75	15	0,173
5	Schlechtes Stockröhrl	459,24	5,5	66	10	8,7	24,00	480	5,55
6	Kläusel-Quelle	458,98	4,0	48	10	8,7	12,00	240	2,77
7	Klamm-Quelle	461,12	4,5	54	10	–	4,5	90	1,041
8	Saure Stollenwässer	461,76	4,5	54	10	–	8,0	160	1,851
9	Gute-Schacht-Quelle	457,71	6,0	72	9,5	8,8	1,75	35	0,405
Zone der Mischwässer nicht gradierfähig									
10	Törring-Quelle		1,5	18	10				
11	Sauerriesel		1,5	18	10				
12	Quellen links	461,17	1,5	18	10				
13	Quellen rechts	461,17	1,5	18	10				
14	Karolus-Quelle	ca. 463	0,5–0,76	6–9,12	9,5–10,4		0,5–1,0	10–20	0,115–0,231
15	Höhlen-Quelle (IX)	460,75	0,72	8,64	10,5				

\*) Siehe Text. – \*\*) Bei Pumpbetrieb

1 Röhrl = 20 m³/Tag = 0,23148 l/s

### Zone der Mischwässer

- a) gradierfähige Quellen (zwischen 6% und 4% NaCl)
- b) nicht gradierfähige Quellen (um und unter 1,5% NaCl).

### Zone der Süßwässer

Diese Wässer wurden durch den sogenannten Grabenbach (einem gegrabenen Bach) gesammelt und unterirdisch aus dem Quellenbau herausgeführt.

Die ehemalige Schüttung der Solequellen und ihr früherer Salzgehalt sind in der Tabelle 4 zusammengestellt. Dazu ist noch folgendes zu sagen: Bei der Edelquelle sind zwei verschiedene Höhen eingetragen. Sie tritt artesisch in der Edelhalle über ein Standrohr aus, welches je nach den hydraulischen Verhältnissen zwischen 458,5 und 459,0 m über NN eingestellt werden konnte. Die Karl-Theodor-Quelle wird gepumpt. Die Pumpe wird von einem Wasserrad über ein 102 m langes Gestänge angetrieben. Die angegebenen Werte gelten nur für den Pumpbetrieb. Legt man die Pumpe still, dann bildet sich im Pumpenschacht durch Zutritt von Süßwasser eine verdünnte Sole aus. Die NaCl-Konzentration sank von 22% bis 24% auf 3,22% und die Temperatur der Sole von 13° C auf ca. 11,5° C.

Eine Regenerierung der Solequellen im Quellenbau wäre dann möglich, wenn die Förderung der Solebohrungen eingestellt und der Soledruckspiegel wieder auf die alte Höhe ansteigen würde.

## Hydrogeologie

In den Jahren 1968 bis 1972 wurden von der Bayerischen Berg-, Hütten- und Salzwerke AG (BHS) insgesamt 9 Bohrungen mit dem Ziel abgeteuft, die Salzvorkommen im Reichenhaller Becken nach Salz und Sole zu untersuchen (Abb. 1). Bei 6 Bohrungen (REI 2, REI 4, REI 6, REI 7, REI 8 und REI 9) konnte vollgrädige Sole nachgewiesen werden. Bei den Förderversuchen stellte sich allerdings heraus, daß eine Soleproduktion nur aus den Bohrungen REI 2, REI 8 und REI 9 über einen längeren Zeitraum möglich war.

Nach den bisher durchgeföhrten hydrogeologischen Untersuchungen (EXLER 1979 a) handelt es sich bei dem Solevorkommen von Bad Reichenhall um ein mit NaCl gesättigtes Tiefengrundwasservorkommen. Es besitzt ein Einzugsgebiet, einen Grundwasserleiter, einen unterirdischen und oberirdischen Abfluß und zusätzlich einen Laugungsraum, in dem das Salz gelöst wird. Die Sole hat einen Salzgehalt von 26%, das entspricht 312 g Salz/kg. Nebensalze spielen eine untergeordnete Rolle (97% NaCl, 3% Nebensalze).

Das Einzugsgebiet der Solequellen ist das Lattengebirge. Der überwiegende Teil der Niederschläge fließt wegen der steilen Hänge oberirdisch ab und wird vom Rötelbach gesammelt und in die Saalach geleitet. Nur ein kleiner Teil der Niederschläge gelangt über Dolinenfelder in das Karstwassersystem des Dachsteinkalks. Ein Teil des Karstwassers tritt als Quellen am Südrand des Lattengebirges zutage und fließt über den Schwarzbach ebenfalls in die Saalach. Das restliche Karstwasser steht dann für die Solebildung zur Verfügung. Aufgrund bis-

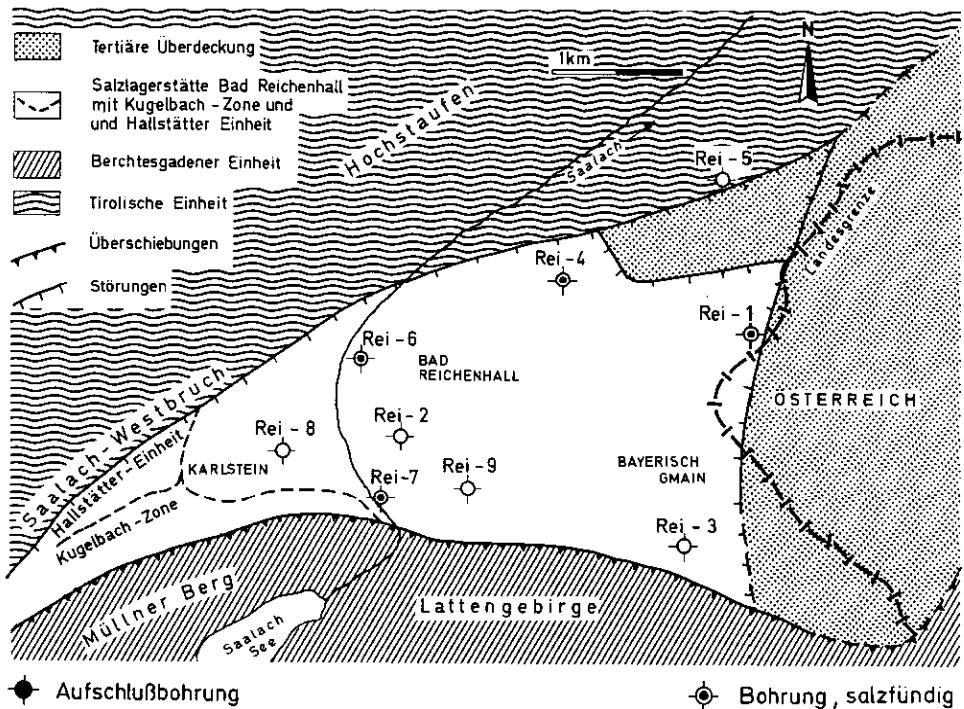


Abb. 3. Lageplan der Solebohrungen im Reichenhaller Becken. – Geologie nach SCHAUBERGER & ZANKL (1976).

her durchgeföhrter Untersuchungen steht der Karstwasserspiegel etwa 125 m über dem Talniveau des Reichenhaller Beckens.

Der Laugungsraum ist nach Lage und Größe unbekannt. Es muß sich aber um ein Gebiet handeln, in welchem das Karstwasser unmittelbaren Kontakt zu salzföhrenden Schichten hat. Es kann sich dabei nur um den Nordrand des Lattengebirges handeln. Aufgrund der geologischen Verhältnisse und des Förderverhaltens der Bohrungen scheiden natürliche Sinkwerke aus. Hydraulische Berechnungen haben ergeben, daß eine Solesäule mit einer Dichte von 1,197 und 850 m Höhe das gleiche Gewicht wie ein Süßwassersäule von 1017,45 m besitzt. Das entspricht einer Auflast von 167,45 m Süßwasser bezogen auf den Soledruckspiegel in der Bohrung REI 2. Die Solelaugung dürfte etwa 850 m unterhalb des Soledruckspiegels oder etwas tiefer nördlich und nordwestlich des Lattengebirges stattfinden. Wegen der geringen Durchlässigkeit kann die Solelaugung nur an Grenzflächen des Salinars stattfinden, durch die die Wassermoleküle infolge des Differenzdruckes zwischen dem Einzugsgebiet und dem Grundwasserleiter gepreßt werden, solange das System einen natürlichen Abfluß besitzt (EXLER 1979 a).

Der Grundwasserleiter ist als Kluftgrundwasserleiter entwickelt. Es handelt sich dabei um den Reichenhaller Kalk (-Dolomit), der stratigraphisch und tektonisch höher als der Laugungsraum liegt. Er ist mit allen übrigen Schichten sehr

stark verschuppt und steht z. B. im Quellenbau an. Seine Durchlässigkeiten sind gering und würden für eine Soleförderung nicht ausreichen, wenn nicht größere soleführende Klüfte zur Verfügung ständen. Diese Klüfte konnten in der Bohrung REI 9 durch Bohrlochmessungen nachgewiesen werden (EXLER 1979 a: 44). Die Bohrung REI 4 war zwar soleündig, wurde aber bei Förderversuchen leergefördert. Längere Beobachtungen des Solespiegels bis zur Verfüllung der Bohrung haben keinen Wiederanstieg ergeben. Möglicherweise fehlt jetzt eine hydraulische Verbindung zu dem Solevorkommen, die früher einmal vorhanden war. Wie gering der Solezufluß ist, wenn keine soleführenden Klüfte vorhanden sind, zeigt das Förderverhalten der Bohrung REI 7, die nur noch als Beobachtungsbohrung verwendet wird. Bei der Förderung sinkt der Solespiegel sehr schnell ab und regeneriert sich nur sehr langsam. Deshalb wäre nur eine intermittierende und unwirtschaftliche Förderung möglich. Das Gesamtvolumen des soleführenden Kluftraumes im Reichenhaller Becken ist relativ gering, da sich die Bohrungen bei der Förderung gegenseitig durch Absenkung ihrer Betriebs- und Ruhedruckspiegel beeinflussen. Ob in den Bohrungen überall das gleiche Kluftsystem erschlossen wurde, ist nicht sicher. Dagegen sprechen Beobachtungen in REI 6. Sie fördert z. B. eine Sole, die sich in ihrem Chemismus durch eine deutliche Erhöhung der Nebensalze auszeichnet, was sich bei der Förderung unangenehm bemerkbar macht. Es kristallisiert in den Steigleitungen, der Förderpumpe und in der Soleleitung, bedingt durch die Änderung der Druck-Temperatur-Bedingungen, Gips aus. Da die Bohrung außerdem auch eine relativ große Absenkung des Solespiegels bei verhältnismäßig geringen Förderraten zeigt, dient sie ebenfalls nur als Beobachtungsbohrung.

Der natürliche Abfluß von Sole ist der eigentliche Motor der Soleneubildung. Solange ein natürlicher Abfluß von Sole vorhanden ist, besteht auch der zwischen Einzugsgebiet und den Grundwasserleitern erforderliche Differenzdruck, um eine Soleneubildung im Laugungsraum in Gang zu setzen und in Gang zu halten. Soweit sich die Verhältnisse rekonstruieren lassen, erfolgte der Abfluß von Sole nach Ende der Vereisung oberirdisch. Die heutigen Verhältnisse haben sich erst als Folge der nacheiszeitlichen Entwicklung des Reichenhaller Beckens herausgebildet. Nach dem Ende der Vereisung kam es durch die zunehmende Verkarstung im Einzugsgebiet zu einer langsamen Tieferlegung des Karstwasserspiegels im Lattengebirge und der Reiteralpe. Dadurch verringerte sich die Höhe der Süßwassersäule auf dem Laugungsraum. Das hatte zur Folge, daß der Soledruck und der Abfluß im Laufe der Zeit langsam, aber stetig abgenommen haben.

Der natürliche Soleabfluß bestand im wesentlichen aus dem oberirdischen Abfluß im Quellenbau mit ca. 48 000 m<sup>3</sup> Sole/Jahr und dem unterirdischen Abfluß im Talalluvium, der etwa 82 000 m<sup>3</sup> Sole/Jahr betrug (EXLER 1979 a, b). Durch die Förderung der 3 Solebohrungen ist der Abfluß von Sole im Quellenbau außerordentlich stark zurückgegangen, so daß eine weitere Verwendung der Quellen für die Solegewinnung oder eine balneologische Nutzung z. Z. nicht mehr möglich ist. Dafür fördern aber die 3 Solebohrungen etwa 165 000 m<sup>3</sup> gesättigte Sole/Jahr. Das ist etwa 3,4fache Schüttung des Quellenbaus. Die Druckabsenkung, die durch die Förderung der Solebohrungen im Kluftgrundwasserleiter des Reichenhaller Kalkes stattfindet, erhöht den Differenzdruck

zwischen dem Grundwasserleiter und dem Einzugsgebiet. Das wiederum bewirkt eine entsprechende Zunahme der Soleneubildung.

### Balneologische Nutzung

Der Beginn des Staatsbades Bad Reichenhall ist das Jahr 1713. Damals existierte bereits in Kirchberg eine „ordentliche Baderegel“, die 15 Punkte enthielt und von dem hochfürstlichen Rat und Physiker Dr. FRANZ DUELLY aus Salzburg unterzeichnet ist. Ob damals bereits Sole zu Badezwecken verwendet wurde oder nur die Kirchberg-Quelle genutzt wurde, ist unbekannt. Das erste Solebad verordnet der Gerichts- und Salinenarzt Dr. OSTERHAMMER am 20. Juli 1823. Er mischte damals Reichenhaller Sole mit Quellwasser vom Schratten und erzielte damit erste Erfolge (HOEMANN 1971).

Von 1913 bis 1975 wurde die Kaiser-Karl-Quelle (Carlos-Quelle) für Trinkkuren und die Karl-Theodor-Quelle zu Badekuren genutzt. Für Inhalationen steht das Gradierwerk im Kurpark zur Verfügung, das mit Gradierwässern beschickt wurde (LOSSEN 1968). Seit die Salzkonzentration der Solequellen im Quellenbau durch die Förderung der Solebohrung stark zurückging, wird das Staatsbad für alle Anwendungen mit gesättigter Sole aus der Bohrung REI 9 versorgt, die als Neufassung der Karl-Theodor-Quelle staatlich anerkannt wurde.

### Literatur

- AMBATTIELLO, P. (1981): Erstellung von Großhöhlräumen im alpinen Salinar unter besonderer Berücksichtigung der Förderung der dabei anfallenden Feststoffe. – Diss. Techn. Univ. Clausthal: 137 S., Clausthal.
- (1982): Die Salz Lagerstätte von Berchtesgaden. – Glückauf, 118 (23): 1183–1188, Essen.
- ARNDT, H. (1933): Geognostische Karte von Bayern 1:100 000, Blatt Windsheim (Nr. XXII), mit Erläuterungen, München (Geol. L.-Unters. Bayer. Oberbergamt).
- BAYERISCHES OBERBERGAMT [Hrsg.] (1936): Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns, II. Bd.: Franken, Oberpfalz und Schwaben nördlich der Donau. – 512 S., München (Oldenbourg u. Piloty & Loehle).
- BESTEL, G. (1929): Das Steinsalz im Germanischen Mittleren Muschelkalk. – Jb. Preuß. Geol. L.-Anst., 50 (1): 263–315, Berlin.
- CRAMER, P. (1964): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6227 Iphofen. – 132 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1965): Zur Geologie der Gegend von Bad Windsheim/Mfr. unter besonderer Berücksichtigung neuer Tiefenaufschlüsse. – Geologica Bavarica, 55: 105–118, München.
- EMMERT, U. (1969): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6428 Bad Windsheim. – 172 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EXLER, H. J. (1979 a): Zur Hydrogeologie des Solevorkommens von Bad Reichenhall. – Geol. Jb., C 22: 25–49, Hannover.
- (1979 b): Der unterirdische Abfluß von Sole im Quartär des Reichenhaller Beckens. – Geol. Jb., C 22: 51–71, Hannover.
- FÜRER, F. A. (1900): Salzbergbau und Salinenkunde. – 1124 S., Braunschweig (Vieweg & Sohn).

- GILLITZER, G. (1914): Geologie der alpinen Salzlager im Berchtesgadener Gebiet mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Solequellen. – *Z. prakt. Geol.*, **22**: 263–272, Halle.
- HARTMANN, E. (1933): Geologie der Reichenhaller Solequellen. – *Abh. geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt*, **10**: 1–22, München.
- HAUNSCHILD, H. (1969): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6528 Marktbergel. – 148 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1971): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6527 Burgbernhheim. – 143 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HOFMANN, F. (1971): 125 Jahre Kurort Bad Reichenhall von 1846–1971. – 40 S., Reichenhall (Staatl. Kurverwalt. u. Stadt Bad Reichenhall).
- (1979): 4000 Jahre Salzgewinnung in Bad Reichenhall. – *Geol. Jb.*, **C 22**: 117–123, Hannover.
- LOSSEN, W. (1968): Geschichte und Beschreibung der Reichenhaller Solequelle, der Soleleitung von Berchtesgaden-Rosenheim, der Reichenhaller Saline. – 15 S., Reichenhall (Selbstverl.).
- MEDWENITSCH, W. (1961): Die Bedeutung der Grubenaufschlüsse des Halleiner Salzberges für die Geologie des Ostrandes der Berchtesgadener Schubmasse. – *Z. dt. geol. Ges.*, **113**: 463–494, Hannover.
- QUENTIN, K. E. (1970): Die Heil- und Mineralquellen Nordbayerns. – Mit 133 chemischen Analysen und 1 farbigen hydrochemischen Karte. – *Geologica Bavaria*, **62**: 312 S., München.
- REIS, O. M. (1901): Der mittlere und untere Muschelkalk im Bereich der Steinsalzbohrungen zwischen Burgbernhheim und Schweinfurt. – *Geogr. Jh.*, **14**: 23–127, München.
- SCHACHL, E. (1954): Das Muschelkalksalz in Südwestdeutschland. – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **98** (3): 309–394, Stuttgart.
- SCHAUBERGER, O. (1967): Die geologische Kartierung der alpinen Salzlagerstätten und ihre Bedeutung für den Salzbergbau. – *Berg- und Hüttenm. Mh.*, **112**: 184–190, Wien.
- (1979): Die alpinen Salzlagerstätten. – *Verh. Geol. B.-A.*, **1978** (3): 445–459, Wien.
- SCHAUBERGER, O. & ZANKL, H. (1976): Die geologischen Ergebnisse der Salzbohrungen im Talbekken von Bad Reichenhall. – *Geol. Rdsch.*, **60** (2): 558–579, Stuttgart.
- SCHMID, H. & WEINELT, W. (1978): Lagerstätten in Bayern. Erze, Industriemineralen, Salze und Brennstoffe. Mit einer Lagerstättenkarte 1:500 000. – *Geologica Bavaria*, **77**: 160 S., München.
- THÜRACH, H. (1901): Über die mögliche Verbreitung von Steinsalzlagern im nördlichen Bayern. – *Geogr. Jh.*, **13** [1900]: 107–148, München.
- TRUSHEIM, F. (1964): Über den Untergrund Frankens. Ergebnisse von Tiefbohrungen in Franken und Nachbargebieten 1953–1960. – *Geologica Bavaria*, **54**: 92 S., München.
- WILD, H. (1968): Das Steinsalzgitter des Mittleren Muschelkalks, seine Entstehung, Lagerung und Ausbildung nach alter und neuer Auffassung. – *Jb. geol. L.-A. Baden-Württ.*, **10**: 133–155, Freiburg i. Br.



## **Erdöl, Erdgas und Bitumen**

Von HANS JOACHIM EXLER

Mit 5 Abbildungen und 2 Tabellen

Erdöl und Erdgas kommen in Bayern nur im Alpenvorland in und unter dem mittleren und südlichen Molassebecken vor. Im nördlichen Teil des Alpenvorlandes konnten bisher keine Kohlenwasserstoffe nachgewiesen werden. Im Nördlinger Ries und in der Nördlichen Frankenalb wurden Bitumenvorkommen untersucht. Sie sind aber im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoffen des Alpenvorlandes wirtschaftlich nicht gewinnbar.

### **Erdöl und Erdgas**

#### **Historische Entwicklung**

Mönche des Benediktiner-Klosters am Tegernsee entdeckten 1441 übertage austretendes Erdöl und schöpften es in einer Quelle. Es wurde als Heilmittel unter dem Namen St. Quirinusöl in den Handel gebracht. Die Austritte lagen in der Nähe des Finner- und Rohbogenhofes am Westufer des Tegernsees. In der Zeit von 1838 bis 1840 wurde vom Bayerischen Staat der Versuch unternommen, das Erdöl bergmännisch zu gewinnen. Dieser Versuch mußte aber wegen des dabei zutage tretenden Erdgases wieder aufgegeben werden. Alle Schächte und Stollen wurden stillgelegt (STEPHAN & HESSE 1966: 246). Bei Rohbogen wurden durch Bohrungen von 1881 bis 1899 327 000 kg Rohöl gewonnen. In der Zeit von 1906 bis 1919 wurden von einer holländischen Gesellschaft weitere Bohrungen niedergebracht und insgesamt 4147,6 m<sup>3</sup> Rohöl gefördert. Die Gesellschaft wurde von dem Holländer STOOP gegründet. Die holländische Gesellschaft ist heute noch Eigentümerin der Heilquellen und des Kurmittelhauses. Die Bohrung Wiessee 3/1909 brachte den wirtschaftlichen Erfolg mit der Erschließung von Mineralwasser in einer Tiefe von 676,5 m. Sie wird als König Ludwig III-Quelle bezeichnet. Eine weitere Bohrung in Bad Wiessee, die Wilhelmina-Quelle, hat ebenfalls Mineralwasser erschlossen. Sie förderte im Ringraum soviel Methangas, daß damit ein Gasmotor betrieben wurde, der die Tiefpumpe für die Mineralwasserförderung antrieb.

Weitere Hinweise auf Kohlenwasserstoffe ergaben sich durch die Gasbrunnen in Niederbayern, die MÜNICHSDÖRFER (1912) und NATHAN (1949) beschrieben haben. Es handelt sich dabei um Brunnen für die Wasserversorgung, die in der Oberen Meeressmolasse stehen und zwischen 9 m<sup>3</sup> und 12 m<sup>3</sup> Erdgas pro Tag für die Hausversorgung lieferten. Sie sind max. 256 m tief. Von der Bayerischen Mineralindustrie AG, einer Tochtergesellschaft der Deutschen Vacuum Oel AG (heute Mobil Oil AG in Deutschland), wurden in den Jahren 1935 bis 1939 sechs

Aufschlußbohrungen niedergebracht, die die Schichtenfolge auf Speichergerste und deren mögliche Gas- und Ölführung untersuchen sollten. Es handelt sich dabei um die Bohrungen Taufkirchen 1/1935, Hartkirchen 1/1937, Mittich 1/1937, Füssing 1/1937, Weihmörting 1/1938 und Birnbach 1/1939 im sog. Bayerischen Innviertel. Sie wurden von NATHAN (1949) veröffentlicht. Zuvor wurden in den Jahren 1918/22 von der Niederbayerischen Bergbaugesellschaft mbH München die Bohrungen Julbach 1/1918 und Julbach 2/1920 niedergebracht. Außer der Endteufe von Julbach 2, sie betrug 1092,3 m, ist nichts überliefert worden (NATHAN 1949: 6).

Nach dieser ersten Aufschlußphase folgte eine längere Pause. Da die bisher angewandten geophysikalischen Methoden nicht zu dem gewünschten Erfolg führten, wurden in der zweiten Aufschlußperiode sowohl in der West- als auch in der Ostmolasse unterschiedliche Wege beschritten.

In der westlichen Molasse wurde zunächst so vorgegangen: Nach den Oberflächenkartierungen in der Schweiz schien es möglich zu sein, die regionalen tektonischen und stratigraphischen Verhältnisse des deutschen Anteils der Vortiefe feldgeologisch zu klären. So kam es im westlichen Alpenvorland zur Kartierung der teilweise zutage anstehenden Oberen Süßwassermolasse. Die Geländeaufnahme wurde durch lückenlos gekernte Counterflush-Bohrungen ergänzt. Aus dieser systematischen Untersuchung und aus der 1950/51 bis in das Kristallin niedergebrachten Aufschlußbohrung Scherstetten 1 (Endteufe 2036,5 m) ergaben sich im westlichen Beckenteil die ersten entscheidenden Hinweise für eine Gliederung der durchteuften Molasse-Stufen und für den Aufbau des Gesamtprofils bis zum „basement“.

Unabhängig davon wurde die 1950 von A. BENTZ ins Leben gerufene regionale Kartierung der Molasse vom Bayerischen Geologischen Landesamt, einigen Hochschul-Instituten und den Erdölfirmen weitergeführt. Schon 1955 konnte die Herausgabe der Übersichtskarte der Molasse im Maßstab 1:300 000 erfolgen. Für die Ermittlung von Fangstrukturen für Erdöl und Erdgas blieb jedoch nach den bei der Kartierung und den Counterflush-Bohrungen gesammelten Erfahrungen als Alternative nur die Anwendung verbesserter geophysikalischer Methoden.

In den Jahren 1951 bis 1953 kam erstmalig wieder die Reflexionsseismik verstärkt zum Einsatz. Sie erstreckte sich im westlichen Alpenvorland (Westmolasse) zunächst auf ein weitmaschiges Meßnetz, das fast das gesamte Gebiet zwischen Lech, Iller und Bodensee überdeckte. Es wurde später durch detaillierte Untersuchungen zur Identifizierung von Spezialstrukturen verdichtet. Dabei wurde schon bald ein fast 20 km langes Störungssystem, die Bruchzone Meersburg-Mönchsrot-Heimertingen, erkannt. Ihre weitere Untersuchung führte 1955 zur Erschließung des Erdölfeldes Heimertingen und 1958 zur Entdeckung des Feldes Mönchsrot, die beide an die Bausteinschichten der Tertiärbasis geknüpft sind (BOIGK 1981: 236).

Im Ostteil des Molasse-Beckens folgte die Kohlenwasserstoff-Suche einem anderen Konzept. Sie ging von der Vorstellung aus, daß die höflichen Gesteine an der Tertiärbasis oder dicht über ihr liegen und die basalen Strukturen durch jün-

gere Schichtglieder, insbesondere durch die Obere Süßwassermolasse, verschleiert sind. Es kam deshalb die Reflexionsseismik hier schon von 1950 an zum Einsatz (HEERMANN 1954). Ihr gelang es, das Landshut-Neuöttinger Hoch als eine herzynisch (NW-SE) streichende Struktur zu kartieren, in der die Tertiärbasis in verhältnismäßig geringer Tiefe liegen mußte. Weniger ausgeprägte Hochlagen gleicher Richtung ließen sich im nordöstlich angrenzenden flacheren Beckenteil identifizieren. Weiterhin wurde erkannt, daß südwestlich des Landshut-Neuöttinger Hochs dem Alpenrand parallel verlaufende Schollentreppen vorhanden sind, die auf antithetische Brüche zurückgehen.

Als ein tektonisches Element erster Ordnung wurde die Störungszone Isen – Ampfing – Mühldorf erkannt und auf eine Entfernung von 30–40 km in E-W Richtung verfolgt. Schon 1953 wurde hier nach der ersten reflexionsseismischen Erkundung die Bohrung Ampfing 1 niedergebracht, um das tiefste Tertiär in Hochschollenposition südlich der antithetischen Störung zu untersuchen. Sie war jedoch verwässert. Nach wenigen Ergänzungsmessungen folgten die Bohrungen Ampfing 2 und 3. Sie trafen im Basalsand des Tertiär auf ein Erdöl- und Gasvorkommen, das 1954 zur Entwicklung des Feldes Ampfing führte. Noch im selben Jahr gelang am gleichen Strukturzug ca. 20 km westlich davon die Entdeckung des Gasfeldes Isen. Statt des Basissandes war hier der über die Oberkreide transgredierende Lithothamnienkalk produktiv. Er führte Gas und geringe Mengen Leichtöl. Noch im darauffolgenden Jahr wurde zwischen den beiden Lagerstätten Ampfing und Isen das Gasvorkommen Steinkirchen erschlossen und wenig später durch den Feldesteil Weiternmühle nach W erweitert. Außer dem Basalsandstein von Ampfing und dem darüber folgenden Lithothamnienkalk konnte hier eine höhere Sandlage im Rupel in Förderung genommen werden, die sich als Isener Gassand schon in der Fundbohrung des Feldes Isen als produktiv erwiesen hatte. Kohlenwasserstoff-Vorkommen waren also nicht nur an der Tertiärbasis, sondern auch in jüngeren Speichergesteinen zu erwarten (BOIGK 1981: 238).

### Geologische Übersicht

Das Vorkommen von Kohlenwasserstoffen ist nicht auf die Tertiär-Beckenfüllung des eigentlichen Molassebeckens beschränkt. Auch im mesozoischen Unterbau wurden Kohlenwasserstoffe in Keuper, Dogger, Malm, Purbeck und in der Kreide nachgewiesen (Abb. 1, Tab. 1).

Der Unterbau ist relativ vollständig unter der Westmolasse entwickelt. Die Basis wird von Granit und Gneis gebildet. LEMCKE (1973) beschreibt die nach-permische Entwicklung des nördlichen Alpenvorlandes und gibt in den Beilagen 1 und 2 eine Übersicht der paläogeographischen Verhältnisse der einzelnen Formationen vom Buntsandstein bis ins Tertiär. Die tiefsten produktiven Horizonte, Keuper (Stubensandstein) und Dogger  $\beta$ -Sandstein, wurden in den Feldern Aitingen und Arlesried erschlossen. Produktiver Malm, z. T. mit Purbeck, wurde in Aitingen, Kinsau und Haimhausen erbohrt, während Kreide in dem dargestellten westlichen Teil des bayerischen Alpenvorlandes nicht entwickelt ist. Sie ist aber im östlichen Bereich im Gaultsandstein des Feldes Hofolding

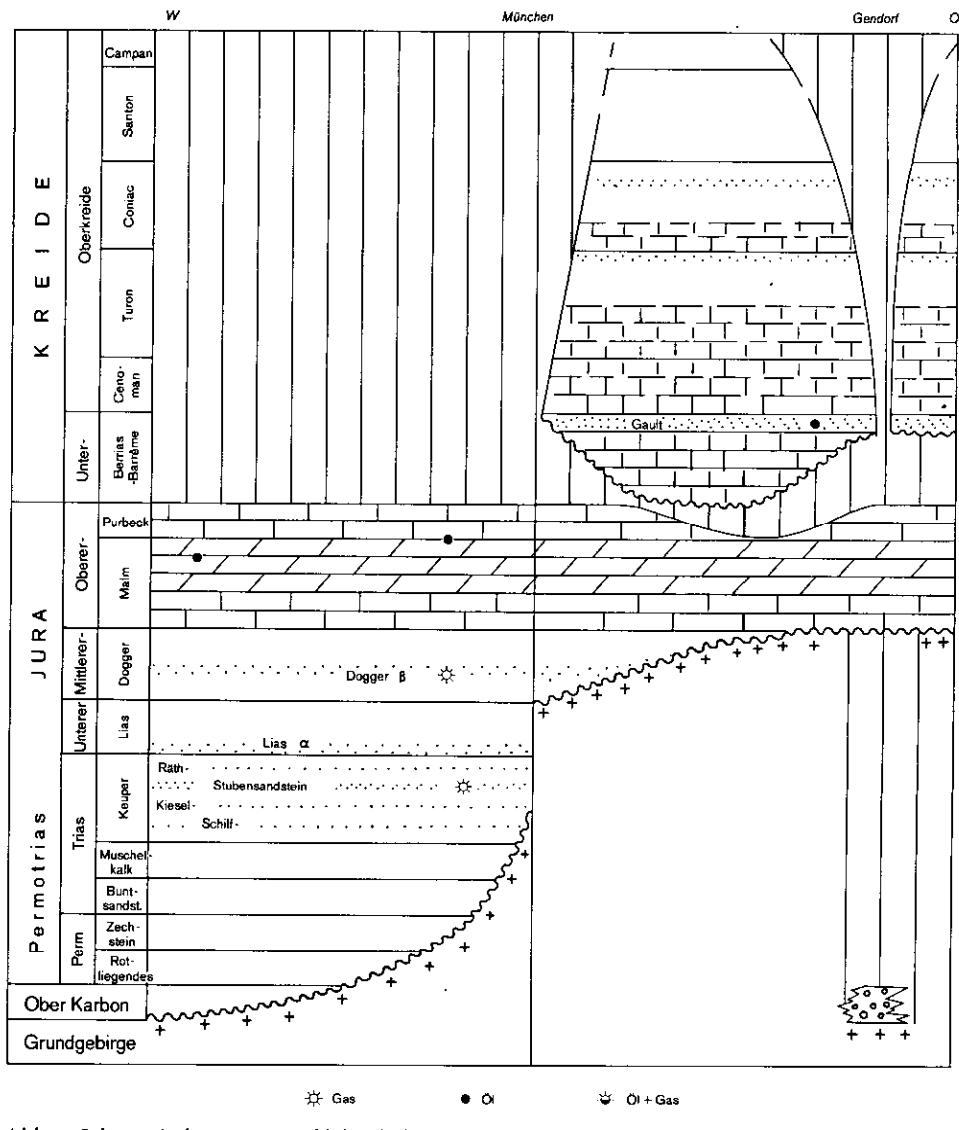


Abb. 1. Schematisches W-O Profil durch den mesozoischen Unterbau des bayerischen Alpenvorlands.

ölproduktiv. Die Abbildung 1 gibt eine stratigraphische Übersicht über den Unterbau in westöstlicher Richtung entlang der wichtigsten Gas- und Ölfelder. Daraus ist u. a. ersichtlich, daß die Kreide vorwiegend im östlichen Bereich entwickelt ist. Auf die Darstellung von Besonderheiten, wie die geologischen Verhältnisse in der Umgebung des Landshut-Neuöttinger-Hochs, mußte aus Gründen einer übersichtlichen Darstellung verzichtet werden. Die Verbreitung von Trias, Lias und Dogger ist auf Abbildung 2 dargestellt. Die abgedeckte Karte des mesozoischen Unterbaus (Abb. 3) zeigt die geologische Situation vor der Tertiärtransgression z. Z. der beginnenden Eintiefung des Molassebeckens.

Der Oberbau ist ebenfalls entlang der wichtigsten Öl- und Gasfelder in Abbildung 4 dargestellt worden. Die Sedimentation innerhalb des östlichen

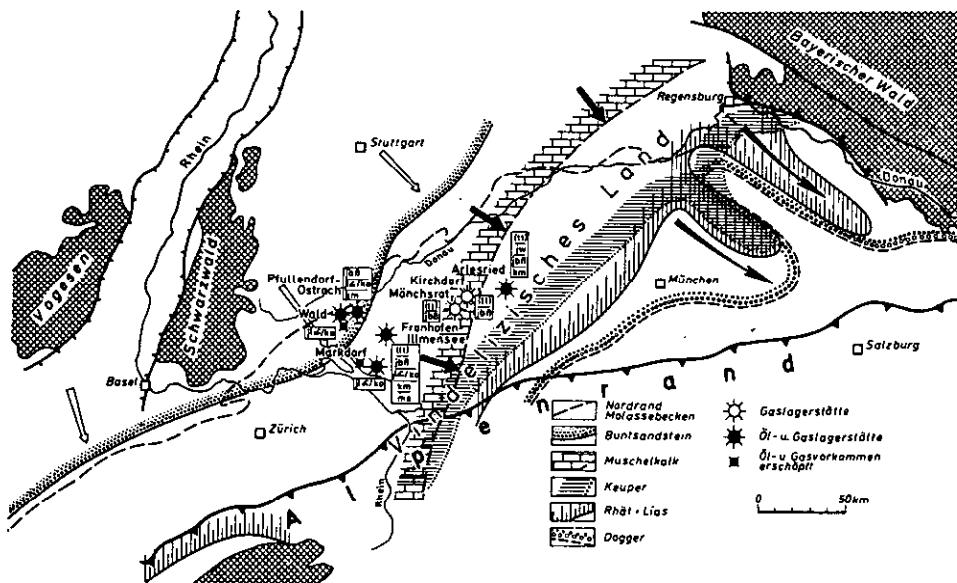


Abb. 2. Verbreitung von Trias, Lias und Dogger im Alpenvorland und das Auftreten von Erdöl- und Erdölgaslagerstätten nach BOIGK (1981) und LEMCKE (1970). – Förderhorizont in: tt = Tertiär, jw = Malm, jb = Dogger, jl = Lias, ko = Oberer Keuper, km = Mittlerer Keuper, mo = Oberer Muschelkalk.

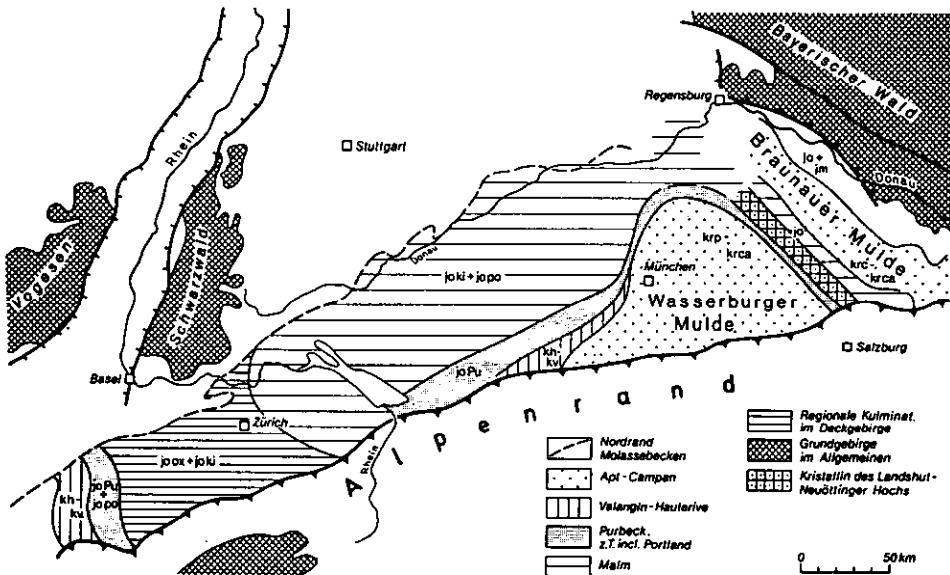


Abb. 3. Der mesozoische Unterbau der Alpenvorlandmolasse. – Tertiär abgedeckt aus BOIGK (1981, nach LEMCKE 1973); krc-krc = Cenoman-Campan, kp = Apt, kh-kv = Hauterive-Valangin, jo Pu = Purbeck, joki/jopo = Kimmeridge + Portland, joox = Oxford, jo = Malm, jm = Dogger.

Molassebeckens ist durch eine vollständige Entwicklung des älteren Tertiärs ab Obereozän gekennzeichnet. Dagegen transgredieren auf der für die Westmolasse dargestellten Linie erst die Bausteinschichten auf Mesozoikum. Der Übergang zwischen Ost- und Westmolasse, vor allem auch in den höheren Tertiärbe reichen, vollzieht sich etwa im Raum München. Die Felder Haimhausen und Hebertshausen liegen in diesem Übergangsbereich (s. Tab. 1). Als wichtigste Förderhorizonte können die an der Tertiärbasis entwickelten Bausteinschichten in der Westmolasse und der Ampfinger Sandstein bzw. der Priabon-Basissandstein für Öl und Erdölgas in der Ostmolasse genannt werden. Während der Ampfinger Sandstein, ein Abtragungsprodukt des Landshut-Neuöttinger-Hochs, nur lokal begrenzt in der Umgebung des Hochs vorkommt, ist der Priabon-Basissandstein im mittleren und südlichen Teil des Ostmolassebeckens verbreitet. Der Lithothamnienkalk ist z. T. dort, wo er die Tertiärbasis bildet, wie z. B. in Isen, gasführend. Die Rupel-, Chatt- und Aquitansande stellen weitere potentielle Speichergesteine für Kohlenwasserstoffe dar.

BOIGK (1981: 240–255) beschreibt die Entwicklung des gesamten nördlichen Alpenvorlandes unter Verwendung zahlreicher, einschlägiger Publikationen, die im Literaturverzeichnis ihren Niederschlag finden (BOIGK 1981: 280–284).

### Strukturelemente

Die Lagerstätten im bayerischen Alpenvorland sind in der Regel an Hochschollen antithetischer Störungen gebunden (s. Abb. 5).

Das Molassebecken stellt den Abschluß der alpinen Geosynkinalentwicklung dar. Diese Vortiefe besitzt am Alpenrand eine tertiäre Sedimentfüllung von 4000 bis 5000 m. Durch die Überschiebung des Alpenkörpers auf sein nördliches Vorland entstanden becken- bzw. alpenrandparallel durch Zerrungstektonik bedingte antithetische Störungen, die im Streichen von 20 km bis zu 50 km und mehr zu verfolgen sind. Ihre Sprunghöhe beträgt bei einem Einfallen von 50° bis 60° zwischen wenigen Metern und 200 m. In Ostbayern konnten die Bewegungen und der Sprungbetrag durch Korrelation mit Schlumberger Diagrammen untersucht werden (KRAUS 1969: 442–454). Dabei wurde festgestellt, daß ab Sannois bis ins Aquitan auf der Tiefscholle in verschiedenen Abschnitten des Profils größere Mächtigkeiten als auf der Hochscholle sedimentiert wurden. Das bedeutet einmal, daß die Störungen immer wieder, durch Stillstandspausen unterbrochen, in Bewegung kamen und zum anderen, daß die Sprunghöhe der Störung von unten nach oben abnimmt. Das hat für die Entstehung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten Konsequenzen. Falls zur Zeit der Migration die Speichergesteine noch nicht gegen die Tiefscholle abgedichtet waren, konnten die Kohlenwasserstoffe ungehindert weiter nach Norden wandern.

Ein Teil der älteren mesozoischen Strukturelemente wurde durch die tektonische Beanspruchung wiederbelebt, wie z. B. die NW-SE streichende Ampfinger Querstörung und das Landshut-Neuöttinger-Hoch (BOIGK 1981: 256). Diese Scholle fällt gegen NE ein und wird im SW von einer Randstörung mit einem Sprungbetrag von ca. 1000 m begrenzt. Sie besteht aus moldanubischem

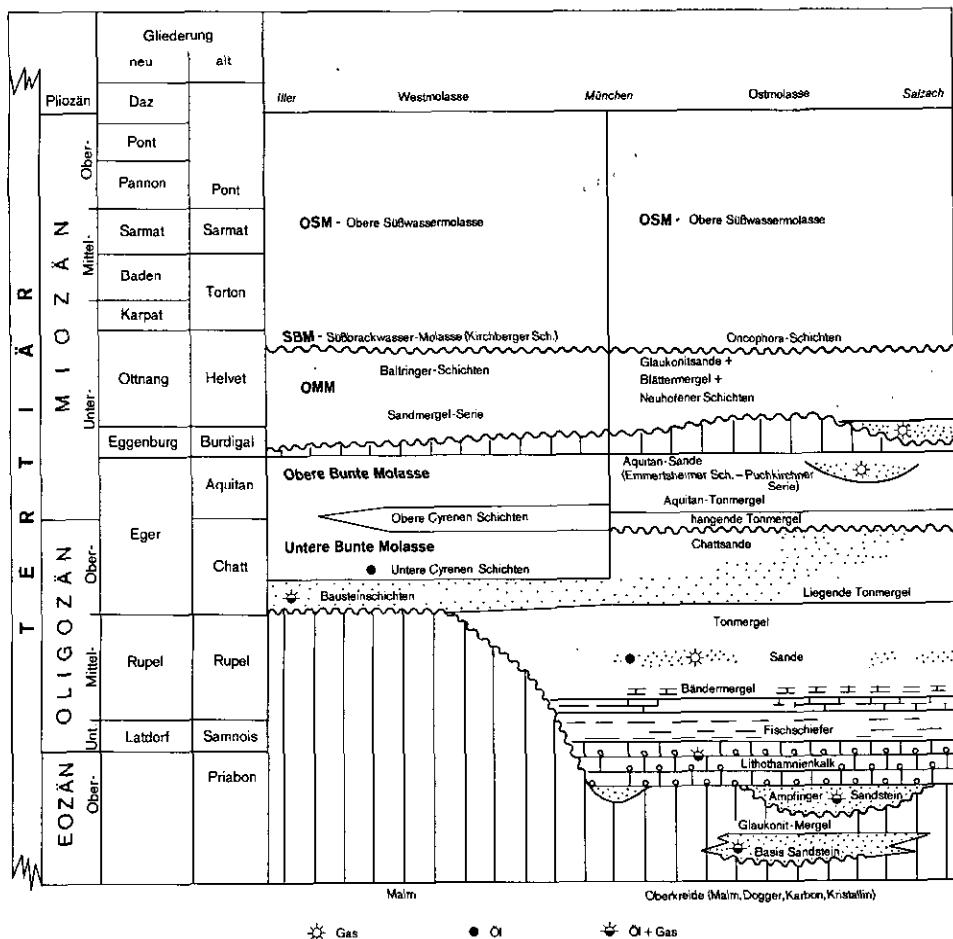
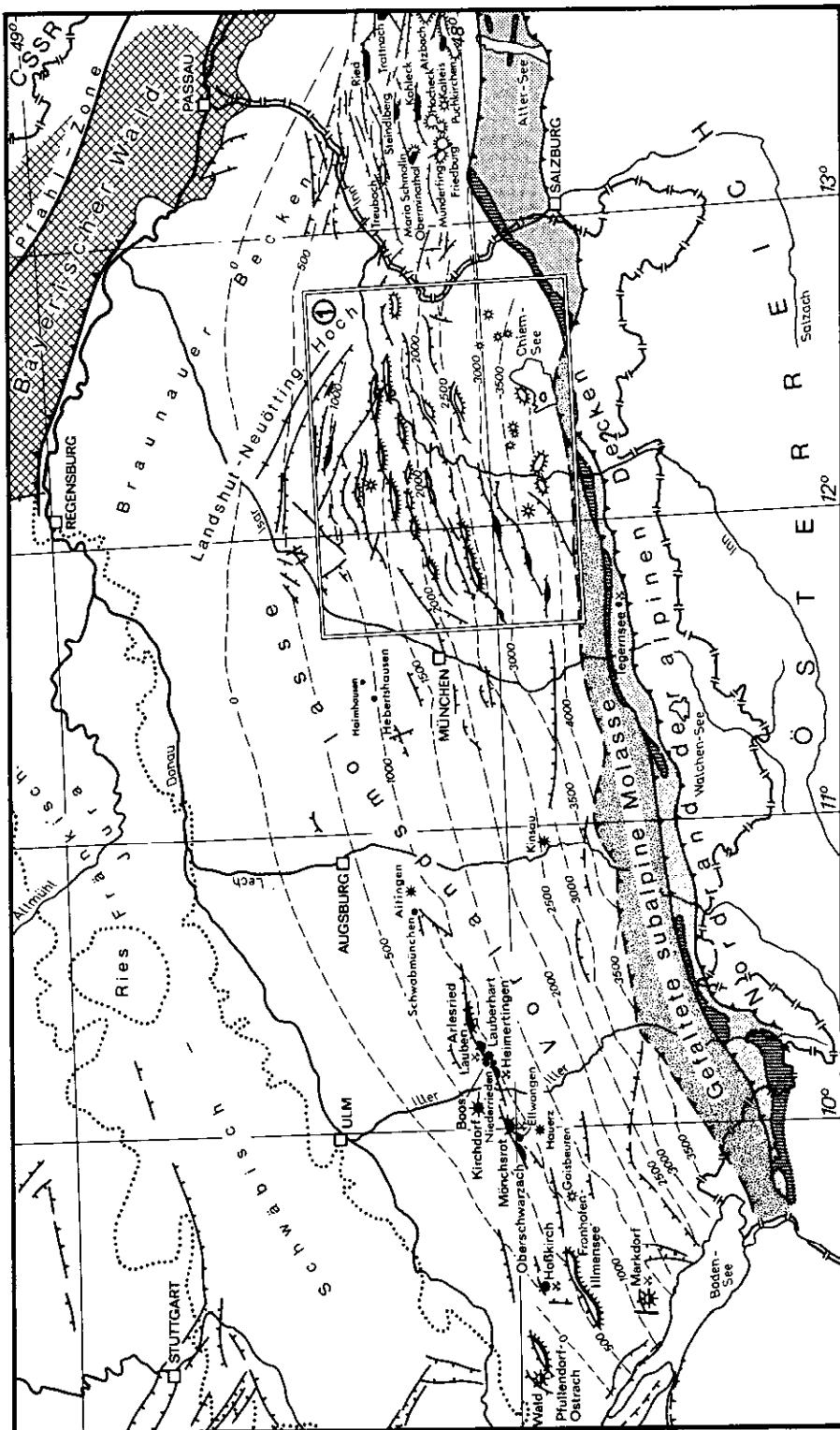


Abb. 4. Schematisches W-O Profil durch das bayerische Molassebecken.

Kristallin, auf dem heute die mesozoischen Sedimente fehlen. Sie bewahrte ihre Hebungstendenz bis ins untere Rupel, das über das Kristallin transgredierte.

### Erdöl und Erdgaslagerstätten

Die bayerischen Erdöl- und Erdgasfelder liegen südlich einer Linie, die von den Feldern Arlesried – Aitingen – Haimhausen – Velden – Teising gebildet wird. Nördlich davon wurden bisher keine Kohlenwasserstoffe nachgewiesen. Lange Zeit klaffte auch eine Lücke zwischen einem ostbayerischen Erdöl- und Erdgasrevier und einem westbayerischen Erdölrevier. Die Lücke wurde durch die Ölfindungen von Haimhausen und Hebertshausen etwas verringert (Abb. 5). Beide Gebiete haben eine unterschiedliche geologische Entwicklung und besitzen deshalb auch unterschiedliche Speichergesteine. Vergleicht man das nördliche Alpenvorland mit anderen Vortiefen der Erde, dann ist festzustellen, daß in ersterem nur relativ kleine Lagerstätten entwickelt sind.



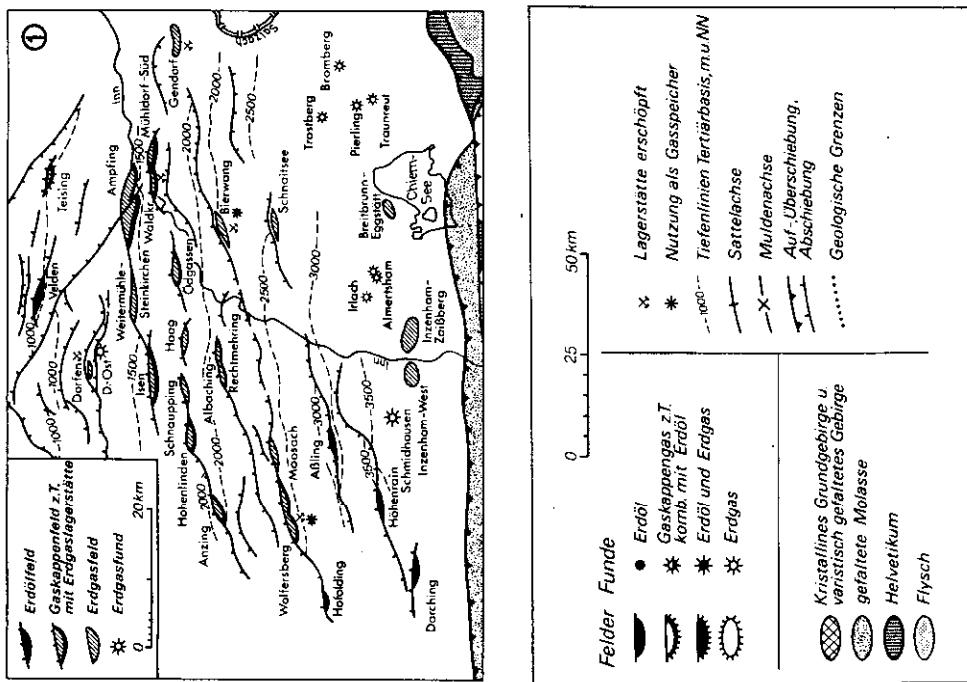


Abb. 5. Ausschnitt aus Erdöl- und Erdgasgeologische Karte der Bundesrepublik Deutschland, Teil 2: Süddeutschland (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover, 31. 12. 86). Legende und Ausschnitt ①

Während in der Westmolasse vorwiegend Öl gefördert wird, hat in der Ostmolasse neben dem Erdöl die Erdgasförderung eine große Bedeutung. Die Felsen sind fast ausschließlich an Hochschollen von antithetischen Störungen gebunden, unter der Voraussetzung, daß entsprechende Speichergesteine entwickelt sind. Fazieslagerstätten im Übergangsbereich von auskeilenden Sanden oder Sandsteinen kommen ebenfalls, aber nur untergeordnet vor. Eine relative Hochlage ist in diesen Fällen nicht unbedingt erforderlich.

Bei den Kohlenwasserstoffvorkommen bestehen unabhängig vom Lagerstättentyp Unterschiede, die aus ihrer Genese und ihrer Verteilung resultieren. Es handelt sich dabei um:

## Erdgaslagerstätten mit sehr hohem Methananteil

## Erdölgaslagerstätten mit Kondensat (Leichtöl)

## Erdölgaslagerstätten ohne Kondensat

## Erdölgaslagerstätten als Gaskappe über Erdöllagerstätten

## Erdöllagerstätten mit hohem Gas-Öl-Verhältnis

Eine ausführliche Beschreibung dieser Gas- und Ölfelder findet sich in BOIGK (1981: 260–276), z. T. mit geologischen Profilen und Strukturkarten. Alle bayerischen Erdöl-, Erdölgas- und Gasfelder mit den dazugehörigen produktiven Horizonten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Aus dieser Darstellung ist ersichtlich, welches Feld aus welchem Horizont fördert. Die Jahresförderung dieser Felder ist aus der Tabelle 2 ersichtlich.

TA belle 1: Erdöl-, Erdölgas- und Erdgasfelder im bayerischen Alpenvorland und deren Förderhorizonte

### Genese der Kohlenwasserstoffe

Die Erdgaslagerstätten im Chatt, Aquitan und Burdigal führen fast reines Methangas und unterscheiden sich damit deutlich von den Erdölgaslagerstätten der tieferen Horizonte. Die Diskussion über die Herkunft der Kohlenwasserstoffe und deren mutmaßliche Muttergesteine begann bereits nach den ersten Öl- und Gasfunden. In der Zwischenzeit liegen umfangreiche chemische und physikalische Untersuchungen vor, die von BOIGK (1981: 277–279) ausführlich dargestellt wurden.

So unterscheiden sich die Erdöle der Felder Aßling, Höhenrain und Darching mit einer Dichte von 0,850 g/cm<sup>3</sup> und einem Stockpunkt zwischen +17° C und +24° C deutlich von den Erdölen von Velden, Ampfing und Mühldorf-Süd mit einer Dichte von 0,900–0,930 g/cm<sup>3</sup> und einem Stockpunkt von –12° C bis weniger als –30° C sowie einem geringeren Paraffingehalt (KRAUS 1969). Nach dem derzeitigen Kenntnisstand stammen das Erdöl und die Erdölgase des Molassebeckens nicht aus potentiellen Muttergesteinen der Molasse. Der Grund dafür ist, daß diese Gesteine nicht tief genug versenkt worden sind, um eine für die Bildung von Erdöl und Erdölgas erforderliche Umgebungstemperatur zu erreichen. Mit anderen Worten, die Muttergesteine der Molasse besitzen nicht die erforderliche thermokatalytische Reife für die Bildung von Erdöl oder Erdölgas (TEICHMÜLLER & TEICHMÜLLER 1975, JACOB & KUCKELKORN 1977). Im Gegensatz dazu dürften die fast reinen Methangase des Chatt, Aquitan und Burdigal biogener Entstehung sein. Sie können im wesentlichen fröhdiagenetisch durch bakteriellen Abbau im Sediment vorhandener organischer Substanzen entstanden sein (SCHOELL 1977). Die Voraussetzungen dafür sind nach LEMCKE (1977) im obersten Rupel und tiefsten Chatt sowie durch vollmarine Tone, die an der Chatt-Aquitan-Grenze entwickelt sind, und Pelite im höheren Aquitan gegeben.

Wo die Muttergesteine der Erdöle und Erdölgase zu suchen sind, ist noch nicht ausdiskutiert. Es wurden verschiedene Gesteinsserien in Erwägung gezogen, die bis zu 5000 m Tiefe versenkt worden sind. Man hat aber in ihnen keine nennswerten Gas- oder Ölpuren nachweisen können (BOIGK 1981: 278). Wenn man früher die Meinung vertrat, daß nur stark bituminöse Gesteine als Muttergesteine in Frage kommen, ist man heute der Auffassung, daß Gesteine mit ausreichender Mächtigkeit und Verbreitung, aber geringerem organischen Inhalt durchaus die erforderlichen Kohlenwasserstoffmengen liefern können, wenn sie die thermokatalytischen Voraussetzungen erfüllen. Möglicherweise erfüllen die in den Alpenbohrungen Vorderriß 1 und Hindelang 1 erbohrten alpinen Gesteinsserien die erforderlichen Voraussetzungen, da man hier entsprechende Hinweise gewonnen hat.

Ähnliches gilt auch für die Westmolasse. Hier werden marines, aber geringmächtiges Rupel und vor allem die helvetische Malmfazies als Muttergestein diskutiert. Flüssige Kohlenwasserstoffe könnten die mehrere 100 m mächtigen Quintner Kalke geliefert haben. Diese Kohlenwasserstoffe könnten dann nach Norden durch die basalen Sedimente der Molasse hindurch in die Bausteinsschichten gewandert sein (LEMCKE 1977). Für eine solche Deutung sprechen Isotopen-physikalische Untersuchungen von Erdöl und Extraktten aus Gesteinen

(HAHN-WEINHEIMER et al. 1979). Weitere Hinweise über mögliche Muttergesteine finden sich bei BOIGK (1981: 278).

Die Migration der Kohlenwasserstoffe wird z. Z. noch diskutiert. Ein wesentlicher Punkt ist z. B. die Frage, warum im nördlichen Molassebecken bisher noch keine Kohlenwasserstoffe gefunden wurden. Diese Frage ist eng mit dem Alter der Störungen verbunden. Wie bereits ausgeführt, hat man Hinweise, daß sich die Störungen in der Zeit vom Sannois bis Ende Aquitan bewegt haben. Bei zu geringen Sprungbeträgen, wenn die Trägerhorizonte auf der Hoch- und Tiefscholle noch Verbindung hatten, konnten die Kohlenwasserstoffe ungehindert weiter nach Norden wandern. Zerrungstektonik, die die Ursache für die Antitheter war, dürfte zuerst am südlichen Rand des Molassebeckens wirksam gewesen sein und dann im Laufe der erdgeschichtlichen Entwicklung auf die mittleren und nördlichen Teile übergegriffen haben. Es ist nicht auszuschließen, daß die Antitheter im nördlichen Molassebecken erst dann zu potentiellen Erdölfallen wurden, als die Migration der Kohlenwasserstoffe bereits beendet war. Weitere Aspekte, auf die BOIGK (1981: 279) eingeht, spielen bei der Diskussion der Migration der Kohlenwasserstoffe ebenfalls eine wesentliche Rolle.

*Tabelle 2: Erdöl- und Erdgasförderung im bayerischen Alpenvorland 1986  
(aus ERDÖL ERDGAS KOHLE, 103: 56, 104, Hamburg – Wien 1987)*

Erdöl (t)	Erdgas (× 1000 m <sup>3</sup> )
Aitingen	61 524
Ampfing	2 097
Arlesried	30 324
Assling	8 028
Boos	37
Darching	17 046
Haimhausen	133
Hebertshausen	6 979
Höhenrain	2 196
Hofolding	29 237
Holzkirchen	7 314
Kinsau	17
Mattenhofen	90
Mühldorf-Süd	1 905
Niederrieden	6
Schwabmünchen	18
Velden	776
Kondensat bei der Erdgasgewinnung	
Aitingen (Erdölgas)	3 024
Anzing	432
Arlesried (Erdölgas)	522
Bayern leicht	214
Moosach	37
Teising	5
Wolfersberg-Speicherkondensat	465
	172 426
Albaching	8 974
Almertsham	6 263
Anzing	14 790
Breitbrunn	55 747
Bromberg	3 977
Eggstätt	14 697
Haag	8 161
Hohenlinden	2 080
Inzenham	6 095
Inzenham-West	22 009
Irlach	9 177
Isen	2 848
Kinsau	7
Moosach	7 385
Oedgassen	960
Rechtmehring	3 043
Schnaitsee	4 943
Schnaupping	2 264
Teising	37
Traunreut	913
Weitermühle-	
Steinkirchen	6 895
Zaißberg	1 919
	183 184

## Bitumen

Die Bitumenvorkommen der nördlichen Frankenalb waren immer dann ein Untersuchungsobjekt, wenn Engpässe in der Energieversorgung auftraten. Es handelt sich dabei um die sog. Posidonienschlierer (Lias epsilon). Dieses Ölschiefervorkommen wurde von 1983 bis 1985 von der Firma Wintershall AG, Kassel, nochmals auf einer Fläche von insgesamt 46,75 km<sup>2</sup> untersucht, und zwar im Raum Burgellern–Oberleiterbach. Es wurden bei diesen Untersuchungen neben Detailkartierungen (1:100 000) eine Bohrung bei Oberleiterbach und 12 Bohrungen auf den topographischen Karten 1:25 000 5932 Ützing, 6032 Scheßlitz und 5931 Ebensfeld abgeteuft. Aus allen Bohrungen wurden Ölschieferproben für Schmelzanalysen entnommen. Ferner wurde das Geologische Institut der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg mit Spezialuntersuchungen beauftragt. Da das Ölschiefervorkommen aus wirtschaftlichen Gründen z. Z. nicht gewinnbar ist, kann es nur als potentielle Reserve für die Zukunft betrachtet werden.

Die Bohrung Nördlingen 1/1973 (GUDDEN 1974) hatte Hinweise auf eine Bitumenführung der tertiären Beckenfüllung des Nördlinger Rieses erbracht. Daraufhin wurden Mitte der 70er Jahre durch die BEB Erdgas und Erdöl GmbH, Hannover, mehrere Bohrungen im Ries abgeteuft. Wegen der Tiefenlage und z. Z. herrschenden wirtschaftlichen Verhältnisse ist das Vorkommen allenfalls als potentielle Reserve für die Zukunft anzusehen.

## Literatur

- BOIGK, H. (1981): Erdöl und Erdölgas in der Bundesrepublik Deutschland. Erdölprovinzen, Felder, Förderung, Vorräte, Lagerstättentechnik. – 322 S., Stuttgart (Enke).
- GUDDEN, H. (1974): Die Forschungsbohrung Nördlingen 1973 – Durchführung und erste Befunde. – *Geologica Bavaria*, 72: 11–31, München.
- HAHN-WEINHEIMER, P., HIRNER, A. & LEMCKE, K. (1979): Zur Herkunft süddeutscher Erdöle. – *Erdöl-Erdgas-Z.*, 95: 121–125, Hamburg-Wien.
- HEERMANN, O. (1954): Erdölgeologische Grundlagen der Aufschlußarbeiten im Ostbayerischen Molassebecken. – *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing.*, 21: 5–22, Riehen/Basel.
- JACOB, H. & KUCKELKORN, K. (1977): Das Inkohlungsprofil der Bohrung Miesbach 1 und seine erdölgeologische Interpretation. – *Erdöl-Erdgas-Z.*, 93: 115–124, Hamburg-Wien.
- LEMKKE, K. (1970): Epigenetische Tendenzen im Untergrund und in der Füllung des Molassebeckens nördlich der Alpen. – *Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. -Ing.*, 37: 25–34, Riehen/Basel.
- (1973): Zur nachpermischen Geschichte des nördlichen Alpenvorlandes. – *Geologica Bavaria*, 69: 5–48, München.
- (1977): Erdölgeologische wichtige Vorgänge in der Geschichte des süddeutschen Alpenvorlandes. – *Erdöl-Erdgas-Z.*, 93 (Sonderausg.): 50–56, Wien-Hamburg.
- KRAUS, L. (1969): Erdöl- und Ergaslagerstätten im ostbayerischen Molassebecken. – *Erdöl-Erdgas-Z.*, 85: 442–454, Wien-Hamburg.
- MÜNICHSDORFER, F. (1912): Die Gas- und Schwefelbrunnen im bayerischen Unterinntalgebiet. – *Geogr. Jh.*, 24: 233–257, München.

- NATHAN, H. (1949): Geologische Ergebnisse der Erdölbohrungen im Bayerischen Innviertel. – *Geologica Bavaria*, **1**: 1–68, München.
- SCHOELL, M. (1977): Die Erdgase der Süddeutschen Molasse – Anwendung von D/H – und  $^{13}\text{C}$ /  $^{12}\text{C}$ -Isotopenanalysen zur Klärung ihrer Entstehung. – *Erdoel-Erdgas-Z.*, **93**: 311–322, Hamburg-Wien.
- STEPHAN, W. & HESSE, R. (1969): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt-Nr. 8236 Tegernsee. – 304 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- TEICHMÜLLER, M. & TEICHMÜLLER, R. (1975): Inkohlungsuntersuchungen in der Molasse des Alpenvorlandes. – *Geologica Bavaria*, **73**: 123–142, München.

## Graphit

Von WINFRIED WEINELT

Mit 6 Abbildungen, 1 Tabelle, 1 Foto und 1 Beilage

Zu dem prähistorischen Bergbau gehört neben dem Bergbau auf Salz, Kupfer und Eisen auch der Bergbau auf Graphit. Archäologische Funde lassen erkennen, daß bereits die Kelten, die im letzten halben Jahrtausend v. Chr. die La-Tène-Kultur vom Atlantik bis zu den Karpaten ausgebreitet hatten, den Graphit kannten, ihn abbauten und in ihrer Keramik verwendeten (Abb. 1).

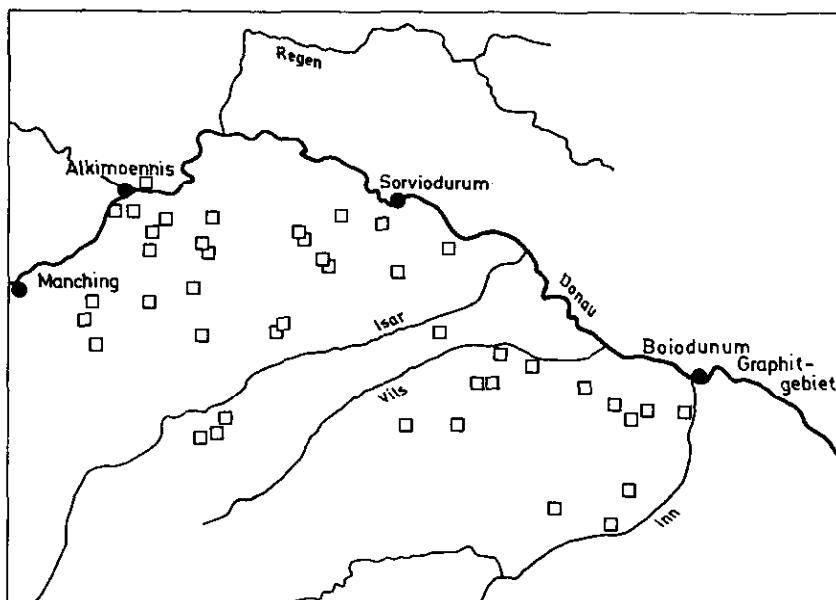


Abb. 1. Verbreitung früh-latènezeitlicher Graphit-Ton-Keramik-Funde südlich der Donau. – Aus KAPPEL (1969)

Das belegbare Wissen über den Graphit läßt sodann eine über tausendjährige Lücke erkennen, die bis zum Beginn des Spätmittelalters reicht.

Unter der Bezeichnung „Eysenfarb“ wird 1518 der Passauer Graphit erstmalig erwähnt. In einem Privilegium, das der Hofhafner HANSS FREYSCHÖFFEN 1524 von dem Administrator des Stiftes Passau, Herzog ERNST, erhalten hat, wird der Graphit unter dem Namen „Eysentachen“ geführt. 1571 werden Graphit und Schmelziegel in verschiedenen Mautbüchern erwähnt. Eine einheitliche Bezeichnung gab es seinerzeit für den Graphit nicht. Man nannte ihn auch Eisentachn, Eysendachen, Däche, Schmelzüglzeich oder Tachen.

Im Jahr 1789 führte der Mineraloge ABRAHAM GOTTLÖB WERNER (1750–1817) den Namen Graphit (vom griechischen Wort γράφειν = schreiben) in die mineralogische Wissenschaft ein.

Im Jahr 1726 werden Graphitvorkommen bei den Orten Leizesberg und Pfaffenreuth, im Jahr 1770 darüber hinaus bei den Orten Germannsdorf, Loizersberg, Rackling, Unterötzdorf, Paulusberg, Diendorf, Matzenberg und Saxing genannt.

Die ältesten Urkunden, die Kropfmühl im Zusammenhang mit dem Graphitbergbau erwähnen, stammen aus den Jahren 1535 und 1537. Die Chronik des Hochstiftes Passau von JOHANN ERNST FABRY aus dem Jahr 1796 berichtet von den Vorkommen von schwarzer Töpfererde und von Porzellanerde. Die Graphiterde, von der man zwei Varietäten unterschied, wurde in Obernzell (Hafnerzell) in zwei größeren Schmelzriegel-Fabriken verarbeitet.

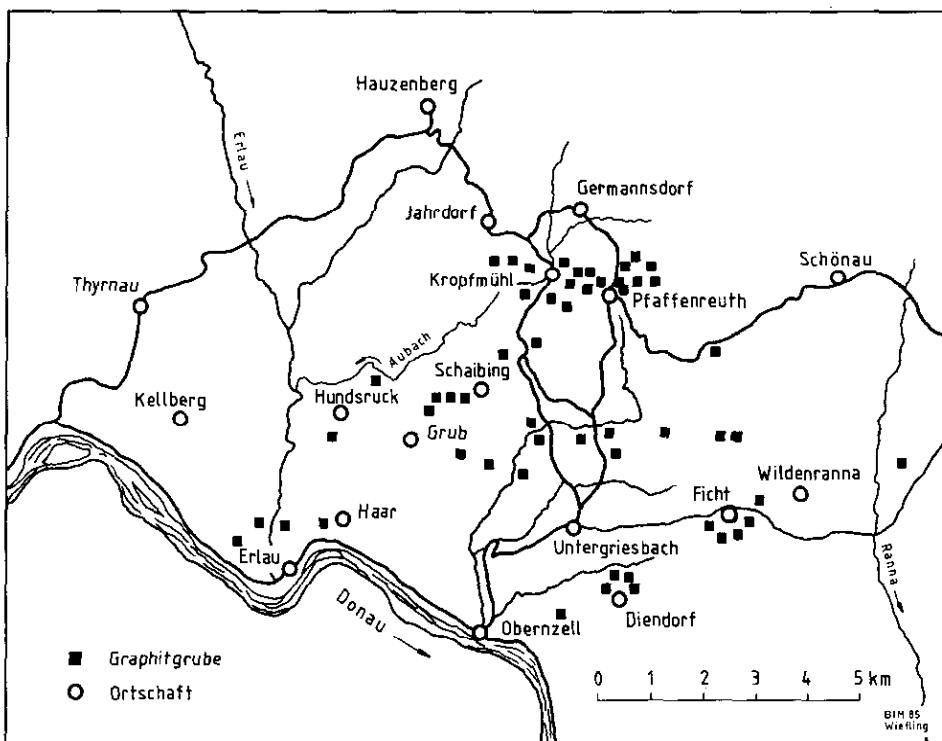


Abb. 2. Graphitgruben im Passauer Wald. – Schematisch nach SETTMACHER (1952), umgezeichnet von G. TROLL, überarbeitet durch Bergbau- und Industriemuseum Ostbayern.

Im Jahr 1846 wurde im Passauer Graphitgebiet an 33 Stellen auf Graphit (Abb. 2) und an 60 Stellen auf Porzellanerde („Weiße Gruben“) gegraben. Die Kaolinvorkommen sind auf der 550-m-Verebnungsfläche in flachen Wannen eingelagert (Abb. 3).

Die Gewinnung der Graphit- und der Porzellanerde war zunächst nur ein Nebenerwerb der Bauern im Herbst und Winter. Schon v. GÜMBEL (1868)

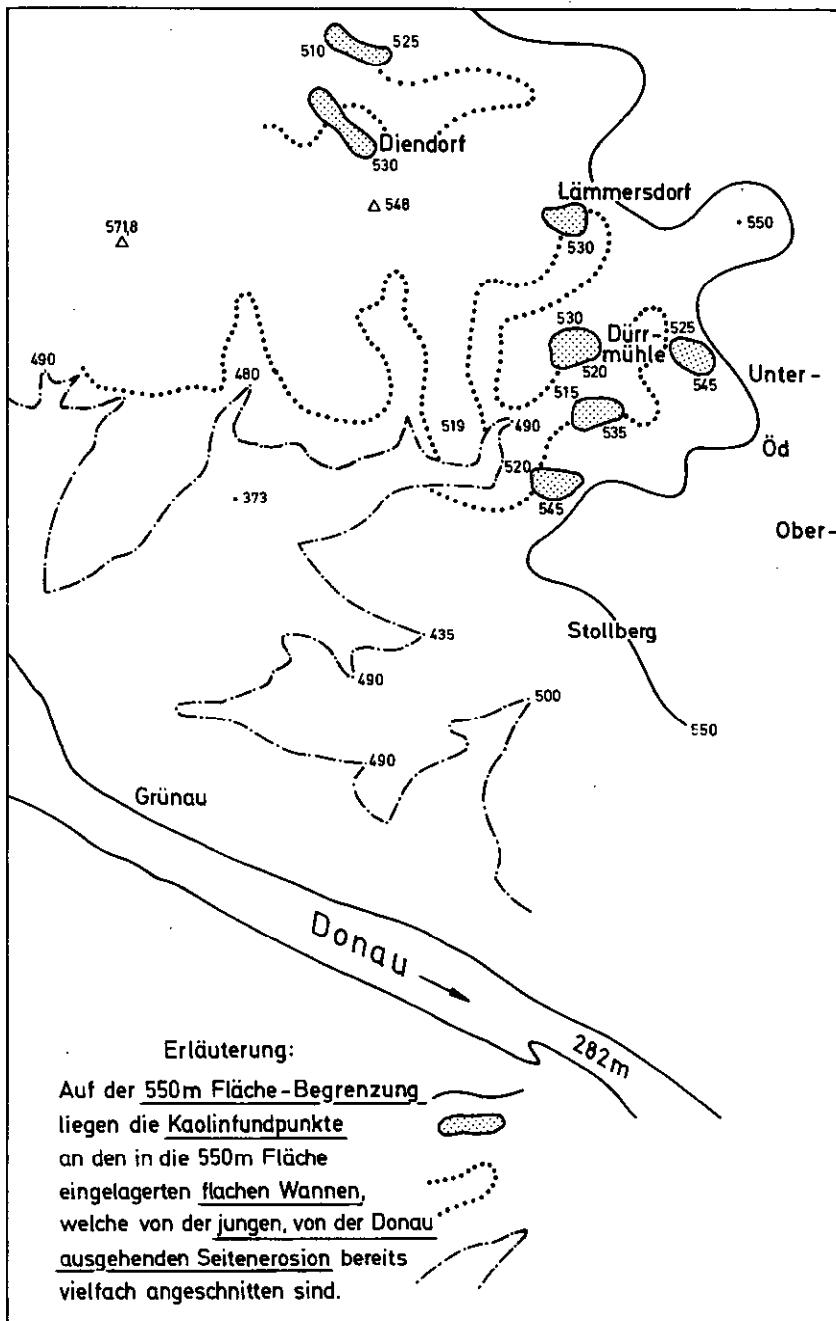


Abb. 3. Kaolinvorkommen im Bereich der 550-m-Verebnungsfläche südöstlich von Untergriesbach (Blatt Nr. 7448 Untergriesbach). – Aus SCHULZ (1926: Taf. XXIII).

bemerkt hierzu: „Es ist sehr charakteristisch, daß gerade die Gewinnung der zwei Hauptstoffe, welche der Wald in seinem Untergrunde birgt, des Graphits und der Porzellanerde, in der Gegend, wo die Vortheile ihrer Benützung nicht unbeträchtlich zur allgemeinen Wohlhabenheit beitragen, bloss eine Nebenbeschäftigung neben dem Betriebe der Landwirtschaft ausmacht.“

Sobald der Graphitbergbau in größere Teufen geriet, gestaltete sich die Gewinnung des Minerals wie auch die Sümpfung und Bewetterung der Gruben kostenaufwendig und schwierig.

Um 1870 erwarben die Gebrüder BESEL aus Dresden Abbaurechte und eine Grube in Kropfmühl. Sie verbesserten die Aufbereitungstechnik durch die Erfindung und Entwicklung der Flotation (Patent Nr. 42 des Kaiserlichen Patentamtes vom 2. Juli 1877). Im Jahr 1908 wurde der Betrieb von dem Münchner Ehepaar LANGHEINRICH übernommen. Aus diesem Unternehmen ging die Graphitwerk Kropfmühl Aktiengesellschaft hervor. Daneben fand noch bis 1936 Grundeigentümerbergbau auf Graphit statt. 1937 wurde das bis dahin dem Grundeigentümer gehörende Mineral Graphit dem Staatsvorbehalt unterstellt. Im gleichen Jahr wurde das letzte bäuerliche Unternehmen im Pfaffenreuther Gebiet durch die Graphitwerk Kropfmühl AG übernommen.

*Tabelle 1: Eckdaten*

Unternehmen	Förderung 1986 in t		Bergbau- produkte	Bergbau- betriebe	Beleg- schaft
	Roh- förderung	Graphit			
Graphitwerk Kropfmühl AG, Langheinrichstr. 1, 8395 Hauzenberg-Kropfmühl	22 637	12 273*)	Rohgraphit	1	181

\*) Einschließlich Erzeugung aus importiertem Rohgraphit

### Unternehmen

Die Lagerstätte und das Graphitbergwerk nebst Aufbereitung gehört zum Eigentum der Graphitwerk Kropfmühl AG, Langheinrichstraße 1, 8395 Hauzenberg-Kropfmühl. Die Rechtsform der Aktiengesellschaft besteht seit 1916. Großaktionäre sind das Bankhaus H. Aufhäuser, München, mit 36%, Ludolph Struve & Co. GmbH, Hamburg, mit 32% und die Bayerische Hypotheken- und Wechsel-Bank AG, München, mit 31%.

Kropfmühl ist das einzige im gesamten Wirtschaftsbereich der Europäischen Gemeinschaft in Betrieb befindliche Graphitbergwerk. Es besteht aus dem erst Ende 1978 fertiggestellten, 270 m tiefen Kurt-Erhard-Schacht [Förderschacht mit Füllorten dzt. bei 165 m (9. Sohle) und bei 200 m (10. Sohle)], drei weiteren Schächten (alter Hauptschacht, Scherlesreuther Schacht, Zwingauer Schacht) und einem Grubengebäude, das in 30 m bis 200 m Tiefe unter Gelände die Lagerstätte bislang in rund 3000 m ost-west-streichender Länge und in Nord-Süd-Richtung mit 800 m querschlägiger Breite aufgeschlossen und zum Teil bereits abgebaut hat. Die Länge der noch offenen Strecken und Querschläge, verteilt auf eine Vielzahl von Sohlen, beträgt mehr als 70 km.

## Geographische Lage

Die Graphitlagerstätte Kropfmühl liegt 22 km nordöstlich der alten Bischofsstadt Passau, die auf dem Boden des keltischen Boiodunum und des Römerkastells Castra Batava steht. Die Siedlung Kropfmühl gehört zur Stadt Hauzenberg und liegt 4 km von dieser gegen Südosten entfernt im Landkreis Passau, Regierungsbezirk Niederbayern, Bergamtsbezirk München. Die Lagerstätte liegt unter einem nach Westen langgezogenen und abfallenden Berghang. Diese Hanglage begünstigt die Wasserlösung und Wetterführung. Durch die gegenüber der Erdoberfläche stärkere Neigung der Lagerstätte gegen Westen tritt diese im Osten in der Nähe des Dorfes Pfaffenreuth zutage.

## Geologie und Entstehung der Lagerstätte

Innerhalb der proterozoischen Gesteine des Moldanubikums der Böhmisches Masse werden sogenannte bunte Serien von monotonen Serien unterschieden. Die bunten Serien enthalten Metasedimente mit hohen Anteilen an Metacarbonaten sowie an Metavulkaniten, insbesondere an Amphiboliten. Bei den monotonen Serien handelt es sich um relativ monotone Abfolgen von Metagrauwacken und Metapeliten.

Bezüglich des biostratigraphischen Alters dieser metamorphen Serien mehrten sich in den letzten Jahren Hinweise auf altpaläozoische Edukte.

Im Passauer Wald treten Westnordwest-Ostsüdost- bis West-Ost-streichende Graphitgneiszüge, welche bauwürdige Graphitflöze beinhalten, in solch einer Bunten Gruppe von Metamorphiten auf, die sich durch einen lebhaften Gesteinswechsel von den meist eintönigen Gneisen einer Monotonen Gruppe in ihrem Liegenden unterscheiden.

Am Stoffbestand der Bunten Gruppe sind an Metasedimenten teils mächtige, teils dünngebankte Metacarbonate, nämlich Marmor, Dolomitmarmor (Ophicalcit), Silikatmarmor, Kalksilikatfels und Kalksilikatgneis beteiligt. Diese wechselseitig mit Metasedimenten metapelitischer und metaklastitischer sowie grauwackenähnlicher metapsammopelitischer Edukte. Zu diesen Parametamorphen zählen Graphit-Biotit-Plagioklas-Gneis, metatektischer Biotit-Plagioklas-Lagen- bis Bändergneis, diatektischer Gneis, Graphitgneis, Biotit-Amphibol-Plagioklas-Gneis, metatektischer Biotit-Cordierit-Plagioklas-Gneis und quarzitischer Gneis.

An Metavulkaniten ist eine starke Einschaltung von Amphiboliten mit einer Häufung im basalen und im hangenden Teil der Gesteinsfolge (Plagioklasamphibolit, Quarzamphibolit, Granatamphibolit, vereinzelt Gabbroamphibolit) und in bestimmten Positionen innerhalb sowie im tektonisch Hangenden der Serie auch von leptynitisch-granulitischen Gesteinen gegeben.

An Metamigmatiten sind – besonders im liegenden Teil der Gesteinsfolge – helle, biotitführende Orthogneise beteiligt.

Die vorgenannte Bunte Serie gehört – bezogen auf den Deckenbau und den Achsenplan des Moldanubikums der südlichen Böhmisches Masse – zum süd-

westvergenten Stamm des variskischen Orogens (vgl. Abb. 4). Mit der aus metablastisch-anatektischen Gesteinen bestehenden Monotonen Gruppe in ihrem Liegenden wird sie von THIELE (1984) zur sogenannten Mühl-Zone zusammengefaßt. Die Mühl-Zone und die aus anatektischen bis diatektischen Gesteinen bestehende Monotone Serie der im Liegenden auftretenden Sauwald-Zone, südlich der Donau, gehören als südwestvergent deformierte und hochgradig migmatisierte Einheiten zum innersten Teil des Südstammes des Variszikums (THIELE 1984).

Die Bunte, marmorführende Gesteinsgruppe läßt sich von Vilshofen an der Donau bis in das Gebiet von Obernzell-Jochenstein verfolgen. In Oberösterreich setzt sie sich als Donauleiten-Serie noch bis Freizell fort und klingt dort aus (DAURER 1976). Sie wird im Passauer Wald als Kropfmühl-Serie bezeichnet, weil sie im Kropfmühler Raum durch einen umfangreichen Bergbau auf Graphit sehr gut aufgeschlossen ist. Die Gesteine der Bunten Gruppe nehmen hier ein Gebiet von  $12 \times 15$  km ein. Sie sind in der Regel mit Amplituden von 40 m bis 80 m um Westnordwest-Ostsüdost- bis West-Ost-streichende Achsen in Großfalten mit Sätteln und Mulden gelegt worden, deren Vergenz gegen Südsüdwest bis Süd gerichtet ist und deren Faltenspiegel flach nach Süden, donauwärts, einfällt (Taf. 3: Foto 2). Im Bereich von Wastlmühle-Kropfmühl-Pfaffenreuth, welche Orte zugleich den bauwürdigsten Hauptzug des  $120 \text{ km}^2$  großen Passauer Graphitgebietes kennzeichnen, zeigt die Lagerstätte Kropfmühl drei große Faltenelemente, nämlich den Kropfmühler Nordsattel und die sich gegen Süden anschließende, flach verfaltete Kropfmühler Mulde, die gegen Süden in die langgestreckte Flanke des Kropfmühler Südsattels überleitet. Charakteristisch für das Verformungsbild sind im Übergangsbereich von der Sattel- zur Muldenstruktur im Achsenstreichen südvergente Schleppfalten (Zwischenfalten). Die Sattelstruktur ist in ihrem Scheitelbereich meist verschuppt, überschert und zerrissen (vgl. Abb. 5).

Die Faltenachsen und somit der gesamte Lagerstättenkomplex zeigen ein nach Westen gerichtetes Eintauchen zwischen  $5^\circ$  und  $15^\circ$ , das örtlich, so zum Beispiel im Westteil des Mittelfeldes, mit Annäherung an den Westwurf auch verflacht. Hier ist das gesamte Faltenbild noch vollkommen erhalten. Im Ostfeld, in der Nähe der Ortschaft Pfaffenreuth tritt die Lagerstätte zutage. Hier ist ihr größter Teil bereits erodiert und nur der tiefste Teil der Kropfmühler Mulde, die Spezialfalte der sogenannten Zwingauer Mulde, steht noch an. Im Westfeld hingegen kommt es im Bereich einer migmatischen Gneisaufwölbung – deren mögliche Einschuppung aus der Monotonen Liegendserie tektonisch noch ungeklärt ist – zu einer nahezu nord-süd-gerichteten Querwalmung eines Teiles des Westnordwest-Ostsüdost-streichenden Faltenbaus (Kropfmühler Nordsattel), wobei die Faltenachsen zum Teil mit ca.  $45^\circ$  steil nach Westen herausheben und wieder eintauchen (vgl. Beil. 1); während das Einfallen der südlichen Sattelflanke gegen Norden verflacht (zunehmende Südvergenz).

Eine Anzahl größerer Granitintrusionen durchschlägt in Form von unregelmäßigen Platten, Gängen und Decken diskordant das bereits vergneiste Gebirge und gliedert die Lagerstätte in einzelne Abschnitte. Die Kontakte der Granite zum durchschlagenen Gneis, in welchen sie Apophysen entsenden, sind durch-

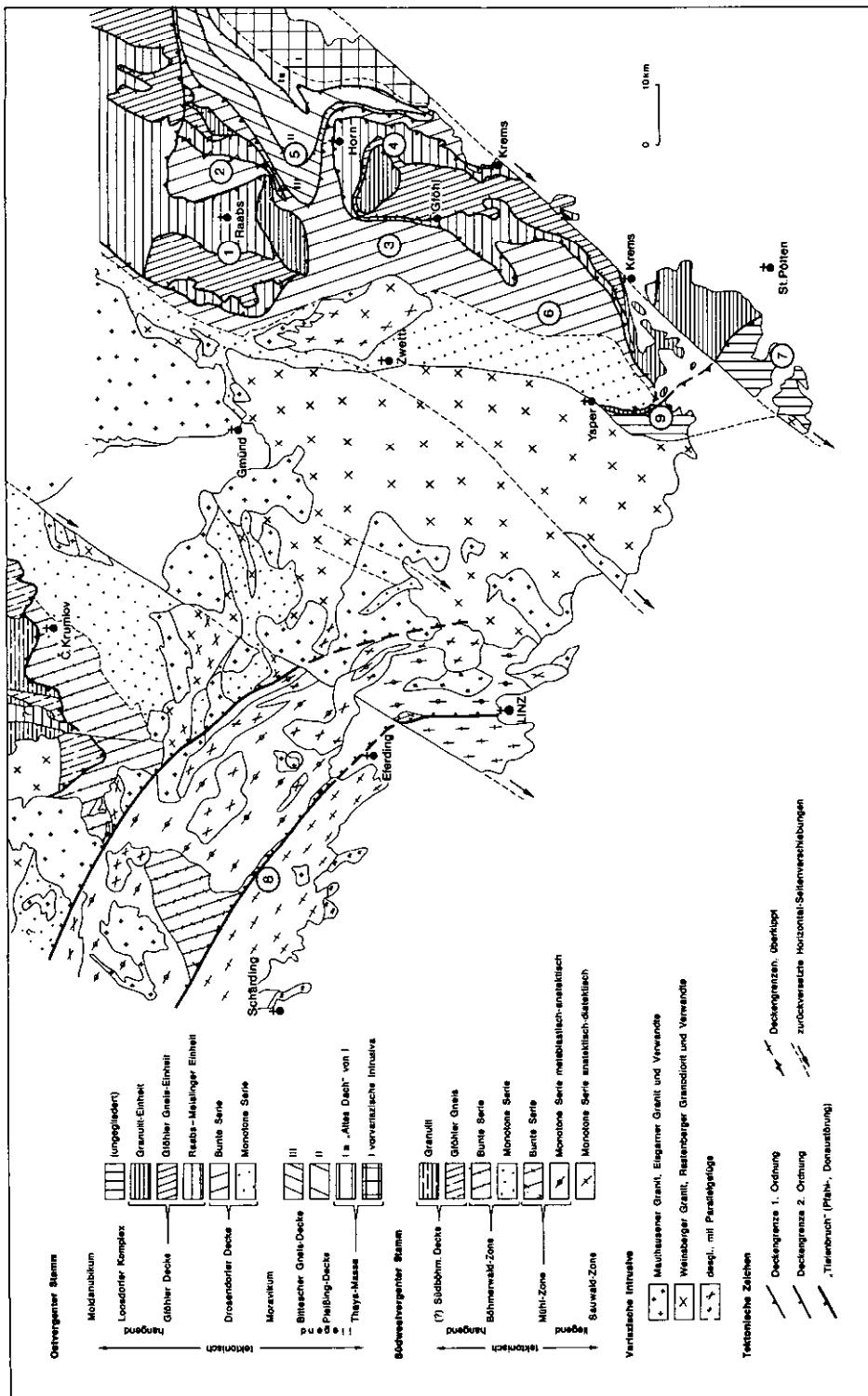


Abb. 4. Tektonische Skizze des Südendes der böhmischen Masse unter Zurücknahme der Verstülpungen entlang der großen linkssitzig versetzenden Horizontal-Seisenverschiebungen (Rödl-, Vitis-Diendorfer Störung etc.). – Aus THIELE (1984: Abb. 2).

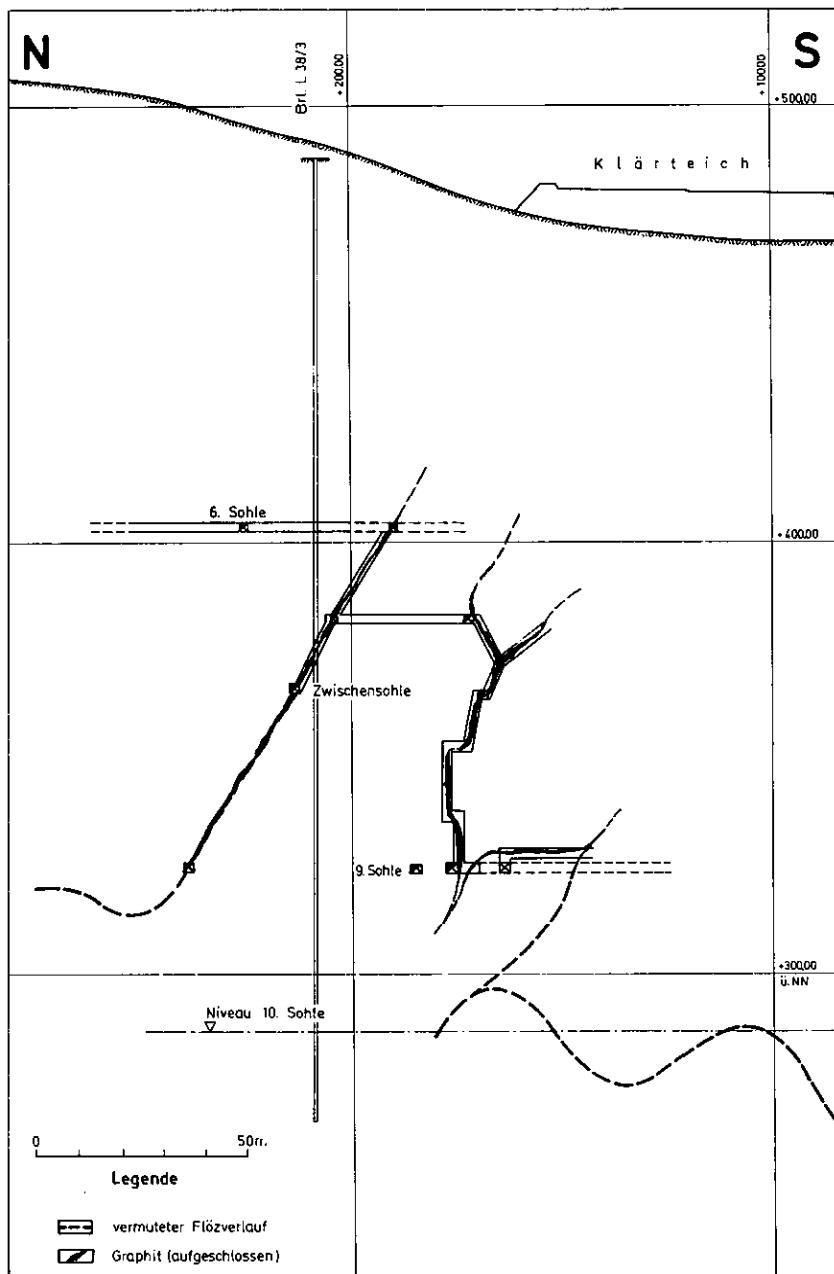


Abb. 5. Nord-Süd-Profil durch den Kropfmüller Nordsattel bei  $y = -1775$ . – Umgezeichnet nach der Unterlage der Markscheiderei der Graphitwerk Kropfmühl AG 1987.

weg scharf. Von den Massivgraniten im Norden werden sie diskordant abgeschnitten. Bei den gangförmigen Intrusivkörpern handelt es sich um andalusit- und/oder sillimanitführende, klein- bis mittelkörnige, hellblaugraue, durch Hämatit zum Teil auch sekundär rot gefärbte, vereinzelt autunitführende Zweiglimmergranite, die akzessorisch unter anderem Cordierit und Fluorit enthalten. Ihre Mächtigkeit bewegt sich vom Zehner-Meter-Bereich bis in den Hundert-Meter-Bereich. Die Platten und Gänge fallen häufig flach ein, können aber auch versteilen. Von Osten nach Westen fortschreitend sind dies der Stierweide-Granit, der Krinninger Granit, der Fröhler Granit, der Decken-Granit, der West-Granit und der Ödhof-Granit (vgl. Beil. 1).

Die Lagerstätte wird ferner von einer großen Anzahl von porphyrischen bis „lamprophyrischen“ Ganggesteinen, wie Hornblende-Porphyriten, Nadeldioriten und Hornblendenadeln führenden Quarzdioritporphyriten, Dioritporphyriten und Granodioritporphyriten diskordant durchschlagen, die sowohl die Gneise als auch die Granite zum Teil in Scharen durchsetzen und die für ihr Aufdringen Nordwest-Südost-verlaufende, steilstehende oder steil gegen Nordosten einfallende Kluftfugen benutzen. Im Übertageaufschluß erreichen sie Mächtigkeiten bis zu 20 m.

Der graphitführende Gneiskomplex wird an Südsüdwest-Nordnordost-streichenden, steilstehenden oder steil ostfallenden sinistralen Verwerfungen, wie dem Krinninger Verwurf, dem Westverwurf, dem Wastlmühlverwurf und dem Jahrdorfer Verwurf, mit Sprungweiten von 70 m bis 250 m Beträgen in einzelne Blöcke aufgegliedert. Diese Aufgliederung hat zur Bezeichnung einzelner Lagerstättenabschnitte wie Ostfeld oder Pfaffenreuther Feld, Mittelfeld oder Kropfmühl-Feld, Westfeld oder Wastlmühl-Feld und Jahrdorfer Feld geführt. Die großen Querverwerfungen machen sich über Tage durch ausgeprägte Talbildungen bemerkbar, an denen der generell gegen Südwesten entwässernde Aubach jeweils in die Nord-Süd-Richtung einlenkt (vgl. Beil. 1).

Auf den Kluftfugen der mitunter in Scharen auftretenden lamprophyrischen Ganggesteine fanden schon vor ihrem Aufdringen Bewegungen statt, durch welche die Lagerstätte versetzt wurde. Mit ihnen überschneidet sich ein System von Diagonalstörungen, das in Südsüdwest-Nordnordost-Richtung verläuft und steil einfällt. Darüber hinaus treten Störungszonen auf, die zum Donaurandbruch (Westnordwest-Ostsüdost) parallel verlaufen. An solch einer Störung ist das östliche Stierweidefeld gegen Norden versetzt.

Es würde zu weit führen, alle im Bereich der Graphitlagerstätte auftretenden Minerale (vgl. hierzu SETTMACHER 1951, TÖPPER 1961, WIMMER 1981) aufzuzählen. Zwei interessante und für die Lagerstätte Kropfmühl geradezu typische Minerale der Verwitterungszone verdienen jedoch erwähnt zu werden. Es ist dies zum einen der von WEINSCHENK (1897) definierte Batavit  $(\text{Mg, Al})_3[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ , ein wasserhaltiges, eisen- undnickelfreies Magnesiumtonerdesilikat, das der Vermiculitgruppe angehört. Er erhielt seinen Namen nach dem römischen Kastell Castra Batava (Batavis-Passau). Er tritt in der Lagerstätte vorzugsweise als Umwandlungsprodukt im sogenannten „Mog“ auf und bildet perlmuttartig weiße, bis 1 qcm große Plättchen. Die Grundmasse des „Mog“ – eines erdigen braunen Gemenges – besteht aus „Braunstein“ und Eisenoxiden. In ihr

kommen neben den Mineralen der Vermiculitgruppe (plättchenförmiger Batavit und Vermiculit sowie faserige Aggregate von Vermiculit), verwitterter Gneis, Graphit, Feldspat, Halloysit, Nontronit, Diopsid, Spinell und Forsterit vor.

Mit dem zweiten, vorstehend bereits aufgeführten erdigen gelbgrünen Mineral, dem Nontronit ist Kropfmühl – neben dem Batavit – als Fundort bereits in die Fachliteratur eingegangen. Bei dem Mineral Nontronit  $(\text{Fe},\text{Al})_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]_{\text{x}}\text{H}_2\text{O}$  handelt es sich um ein wasserhaltiges Eisen-Aluminium-Silikat. Ein Gemenge von Nontronit mit Opal ist der ebenfalls auf der Lagerstätte zu beobachtende Chloropal.

Für die Entstehung von Graphitlagerstätten wurden in der Vergangenheit Stoffzufuhren im Gefolge magmatischer Vorgänge, die Ablagerung organischer Substanzen und wechselnde organische und anorganische Bildungsprozesse in Erwägung gezogen.

Indessen deuten Isotopenuntersuchungen am Kohlenstoff und am Schwefel der zur Paragenese gehörenden sulfidischen Erze (Pyrit, Markasit, Chalkopyrit, Pyrrhotin, Molybdänit, Sphalerit, Galenit) eine organische Entstehung an, die in jüngerer Zeit durch Funde faunistischer und floristischer Herkunft in den Gesteinen benachbarter Bunter Gruppen erhärtet werden konnte. Hierher zählen die Fossilfunde aus dem Raum Grünberg bei Brand im Fichtelgebirge und aus dem Gebiet von Waldmünchen im Oberpfälzer Wald (MTELKE 1985) sowie von Rittsteig im Bayerischen Wald (FRANKE, PFLUG & REITZ 1986), die dort ein oberproterozoisches bis unterkambrisches Alter andeuten.

Als Ausgangsgesteine der Metamorphe der Bunten Gruppe waren Kalkstein, Dolomitstein, Mergelstein, Tonstein, Sandstein, Grauwacke, Kieselschiefer, Quarzit, euxinische Ablagerungen, saure und basische Vulkanite und deren Tuffe in einer ehemals marin Schichtfolge beteiligt, die mindestens bei einer metamorphen Prägung Temperaturen von 400° bis 700° C und einen Druck von 3–4 kbar durchlaufen haben.

Die Verteilung der Spurenelemente V, Cr, Mo, Ni, Cu und Se, die eine gewisse Anreicherung gegenüber den Clarke-Werten zeigen und insbesondere laterale geochemische Differenzierungen erkennen lassen, erlauben Rückschlüsse auf die Genese des Graphits und der ihn begleitenden Sulfide sowie auf die paläogeographische Situation des präkambrischen Sedimentationsraumes der Parametamorphe im Passauer Wald (FELBER & WEINELT 1984). In der westlichen, streichenden Verlängerung der Graphitlagerstätte, im Raum Niederbrünst, treten in Bohrungen die höchsten Konzentrationen der Spurenelemente V, Cr, Mo, Ni und Se auf, die bevorzugt unter reduzierenden Bedingungen in sapropelitischen Faziesbereichen organisch-komplex, sorptiv oder sulfidischem gebunden angereichert wurden. Demgegenüber ist in einer Bohrung im östlichen Stierweide-Feld der Lagerstätte lediglich das Zn und in den Bohrungen bei Gotting das Cu etwas angereichert. Die Bohraufschlüsse zeigen hier in lebhafter Wechsellagerung Gneise, die nur in einzelnen Horizonten graphitführend sind, Kalksilikatfels, Marmor und Amphibolit.

Diese Beobachtungen deuten drauf hin, daß in dem oberproterozoischen Sedimentationsraum nur in einzelnen Teilbecken über lange Zeitspannen hin-

weg konstant reduzierende Bedingungen herrschten, die z. B. im Raum Niederbrünst-Kropfmühl-Pfaffenreuth zu mächtigen Ablagerungen sapropelitischer Faulschlämme und dementsprechend starken Kohlenstoff- und Spurenelementanreicherungen führten. Daneben existierten vermutlich höher gelegene Rand- und Schwellenbereiche (Stierweide, Götting), wo raschere Fazieswechsel stattfanden und nur episodisch reduzierende Bedingungen herrschten. Hier liegen heute Paragneise, die in einzelnen Horizonten Graphit führen (hervorgegangen aus z. T. bituminösen grauwackeähnlichen Sedimenten), Kalksilikatfelse (ehemals tonige karbonatische Sedimente), Marmore (metamorph überprägte Kalksteine) und Amphibolite (ehemals basische Effusiva, Tuffite oder kalkig-dolomitische Tongesteine) in dichter Wechselfolge vor. Die Voraussetzungen für stärkere Kohlenstoff- und Spurenelementanreicherungen waren in diesen Gebieten nicht gegeben (FELBER & WEINELT 1984).

### Lagerstätte

Die Mächtigkeit des abbauwürdigen Graphitflözes, das zum Teil durch Zwischenmittel aufgespalten ist und durch tektonische Überprägungen und Wiederholungen eine Vielzahl von Flözen vortäuscht, ist Schwankungen unterworfen. Zum Teil ist die Flözmächtigkeit (maximal bis zu 6 m) durch Überschiebungen verdoppelt, zum Teil durch streichende Störungen, wie zum Beispiel im Bereich der Nordflanke des Kropfmühler Nordsattels, reduziert. Der Graphitgehalt der Lagerstätte liegt in der Regel um 30%. Gelegentlich wurden in der Verwitterungszone auch Kohlenstoffgehalte zwischen 70 und 80% beobachtet. In der bis etwa 30 m Tiefe reichenden Verwitterungszone konnte der weiche Graphit, der zum Unterschied von dem harten Graphit („Bos“) ortsüblich als „Doher“ bezeichnet wird, und das zersetzte Nebengestein von Hand hereingewonnen werden.

Der flockige Graphit tritt sowohl in den Flözen selbst, als auch in den Graphitgneisen und in den Marmoren in Form von 1 bis 2 mm großen Kristallchen auf. Die bauwürdigen Graphitflöze sind großenteils während der Gebirgsbildung „tektonisch mobilisiert“, das heißt auf Gleitflächen und in entlasteten Abstauräumen von Falten angereichert worden. Apophysen, die von solchen Graphitflözen ausgehen und die sie begleitenden Gneise scheinbar quer durchgreifen, entsprechen ausgequetschten Faltenkernen, die sich durch Einknickung der sie begleitenden gefalteten Lagen nicht selten vergabeln. Auf diese Weise können die raschen Mächtigkeitsänderungen, das Aufspalten und Auskeilen der Graphitflöze in der Lagerstätte Wastlmühle-Kropfmühl-Pfaffenreuth gedeutet werden, die eine Ost-West-Erstreckung von 3000 m und ein Nord-Süd-Ausdehnung von 800 m besitzt.

### Wasserhaltung und Stromerzeugung

Die Sümpfung der erschrotenen Grubenwässer erfolgt zum einen über den Lugerstollen und den Ewigkeitsstollen als Tagesstollen, zum anderen durch die Hebung der im Berg zusitzenden Grubenwässer von der 6. und der 10. Sohle mittels vier Kreiselpumpen bei einem Zulauf von 4 cbm/min.

Die Grubenwässer werden sowohl dem Vorfluter als auch der Aufbereitung (z. B. aus dem Lugerstollen) zugeführt.

Die durch die Wasserkraft der Erlau und des Aubaches in einer eigenen Stromerzeugung mit einem Laufkraftwerk gewonnene Strommenge liegt bei durchschnittlich 6 Millionen Kilowattstunden im Jahr.

## Gewinnungstechnik, Aufbereitung und Verwendung

Die Gewinnung des Graphits erfolgt mit Bohr- und Schießarbeit im kombinierten Firstenstoßbau und Örterbau.

An jedem Abbauort werden je Schicht zwischen 30 und 40 Bohrlöcher von jeweils 1,5 Metern Länge gesetzt. Dabei werden bei einer Sprengung bis zu 24 kg Sprengstoff gezündet. Gleislose, druckluftbetriebene Selbstlader, auch Überkopf-Wurf-Schaufellader genannt, welche sich mit der Schaufel selbst beladen können, befördern den Rohgraphit zur nächsten Rolle, durch die er zur nächsttiefergelegenen Sohle gelangt. Auf der Hauptförderstrecke (im Westfeld 9. Sohle) gelangt das Fördergut mittels E-Lok-angetriebener Züge zum Füllort. Hier werden die aus den verschiedenen Abbaubetrieben kommenden Wagen mit einer pneumatischen Vorrichtung auf den Förderkorb transportiert. So gelangen sie nach über Tage und werden dort mittels eines Kreiselwippers in die Brecheranlage entleert.

Der in der Grube mit ca. 30% C anstehende Rohgraphit wird zur Zeit bis auf das Niveau der 10. Sohle, ca. 200 m unter der Rasenhängebank, abgebaut und über den Erhard-Schacht, der eine Gesamtteufe von 270 m hat, zutage gefördert. Der Rohgraphit wird in der angeschlossenen Graphitaufbereitung (vgl. Abb. 6) mittels naßmechanischer und chemischer Aufbereitungsmethoden zu hochwertigen Produkten mit Kohlenstoffgehalten von 70 bis 99,99% veredelt. Durch Sieb- und Mahlprozesse werden die aufbereiteten Konzentrate weiter verarbeitet. Auf einer Anzahl unterschiedlicher Mühlentypen wird eine Vielzahl von Produkten mit Feinheiten bis in den Kornbereich um 2 Mikron hergestellt.

Mehr als 70 verschiedene Graphitsorten werden erzeugt, die sich im Kohlenstoffgehalt, in der Körnung und in der Mahlart unterscheiden.

Flockengraphit ist wegen seiner hohen Temperaturbeständigkeit, chemischen Widerstandsfähigkeit, hohen Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität sowie guten Spaltbarkeit in einer Kristallebene für eine große Zahl von Industrieerzeugnissen und viele industrielle Verfahren ein unentbehrlicher Rohstoff. Zu nennen sind hier als die wesentlichsten Verwendungsbereiche: Schmelziegel für die Gießereiindustrie und hochfeuerfeste Keramik (der Schmelzpunkt von Graphit liegt bei 3500° C), Kohlebürsten für Elektromotoren, Elektroden, Trockenbatterien, Akkumulatoren, hochtemperaturbeständige Schmiermittel, Bleistifte, Zusatzstoffe für Chemikalien, Kunststoffe, Gummierzeugnisse und Hartmetalle und nicht zuletzt Brennelemente für Hochtemperaturreaktoren.

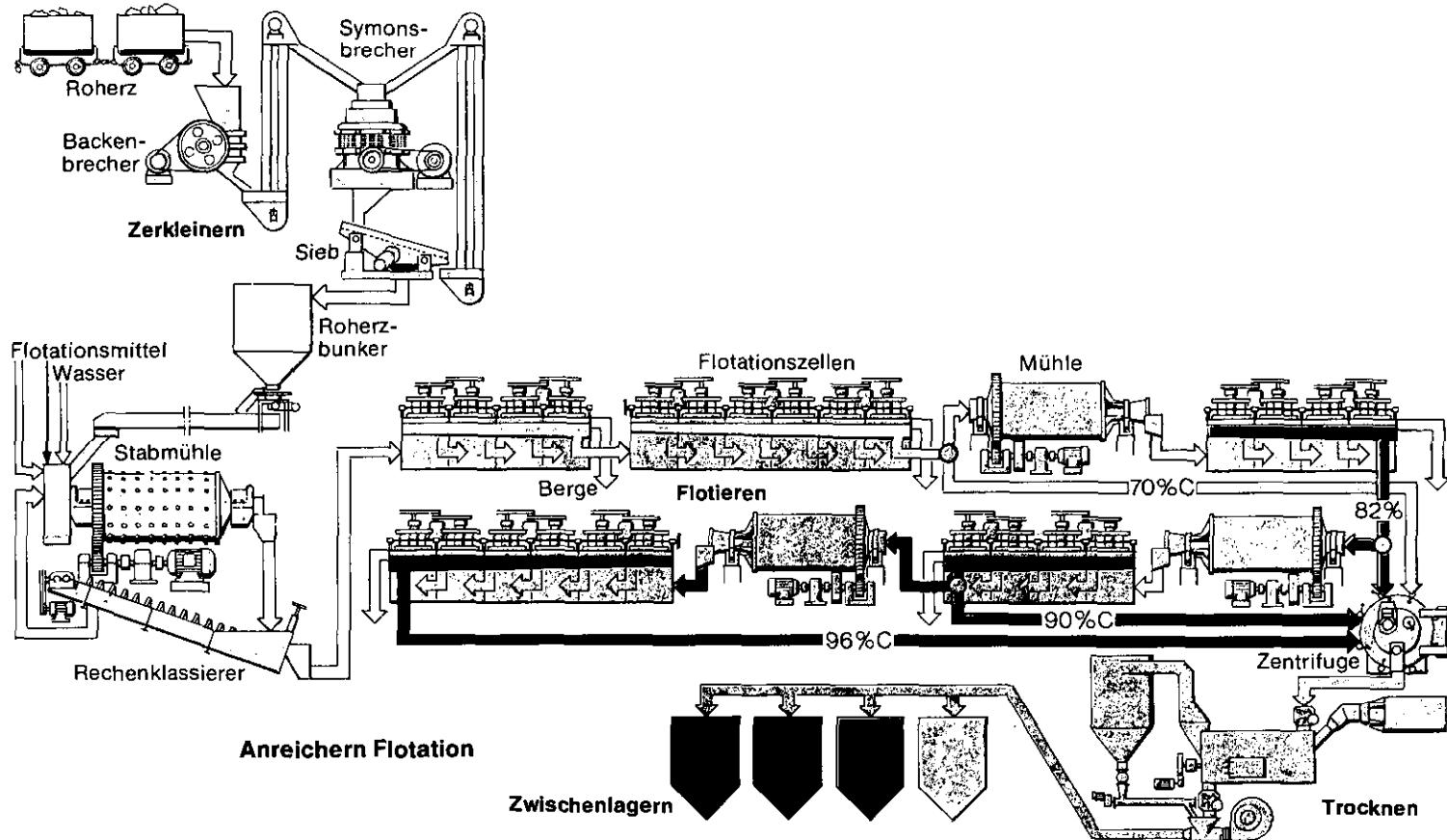


Abb. 6. Aufbereitung im Graphitwerk Kropfmühl. – Aus GOHLA (1986: Abb. 16).

Entsprechend dem hochwertigen und vielseitigen Angebot veredelter Graphitsorten (etwa 120) besitzen die Erzeugnisse der Graphitwerk Kropfmühl AG Weltgeltung. Etwa die Hälfte der Produktion wird in rund 50 Länder exportiert, worunter die USA und Italien als Abnehmer an der Spitze stehen. An der Versorgung der Bundesrepublik ist die Graphitwerk Kropfmühl AG etwa zu 75% beteiligt. Die Verkaufszahl an absatzfähigen Graphiterzeugnissen ist von 1960 bis 1986 von 11 000 auf 16 000 t jährlich angestiegen.

Bis 1922 wurden aus der Graphitlagerstätte Kropfmühl 1 Million Tonnen Graphit und seit 1922 1,5 Millionen Tonnen Graphit gefördert. Im Jahr 1986 betrug die Rohförderung 22 637 t.

In den letzten zehn Jahren durchgeführte bergmännische Untersuchungsarbeiten, die in Verbindung mit einer großen Anzahl von übertage angesetzten Kernbohrungen standen, haben Graphitvorräte nachgewiesen, die für die nächsten Jahrzehnte ausreichen.

Die Bewetterung der Grube erfolgt durch natürliche einziehende Wetter. Der Sommerwetterstrom verläuft vom Zwingauer Schacht als einziehendem Schacht zum Kurt-Erhard-Schacht als ausziehendem Schacht. Der Winterwetterstrom bewegt sich in umgekehrter Richtung. Bei Streckenvortrieben und Hochbrucharbeiten erfolgt eine künstliche Sonderbewetterung durch Ventilatoren, die frische Wetter auch an die entlegensten Betriebspunkte bringen. Die Abluftrate ist abhängig von der Witterung und der Jahreszeit. Sie beträgt im jährlichen Durchschnitt ca. 800 cbm/min. Es wird pro Tag nur eine Frühschicht untertage verfahren, zu der ca. 60 Mann der Belegschaft gehören.

Dank: Für die großzügige Überlassung von firmeneigenen Daten, Dokumentationsmaterial, Abbildungen und Grubenrissen sowie für wertvolle Anregungen und Diskussionen sei der Graphitwerk Kropfmühl AG herzlich gedankt.

## Literatur

- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND VERKEHR (1978): Rohstoffprogramm für Bayern (mit 1 Farbtaf. von SCHMID, H. & WEINELT, Wl.: Lagerstättenkarte von Bayern 1:500 000 – Erze, Industriemineralien, Salze und Brennstoffe). – 129 S., München.
- DAURER, A. (1976): Das Moldanubikum im Bereich der Donaustörung zwischen Jochenstein und Schlögen (Oberösterreich). – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., 23: 1–54, Wien.
- FELBER, J. & WEINELT, Wl. (1984): Geologisch-lagerstättenkundliche und geochemische Untersuchungen im Passauer Graphitgebiet. – Rahmenprogramm Rohstoffforsch. Mineral. Rohstoffe, Statusbericht 1984: 96–112, PLR der KFA Jülich, Jülich.
- (1984): Geophysikalische Methodenentwicklung mit begleitenden Kernbohrungen und Gesteinsanalysen in Ostbayern. – BMFT-FB-T 84-213: 105 S., Freiburg i. Br..
- FRANKE, W., PFLUG, H. D. & REITZ, E. (1986): Vorläufige Ergebnisse palyno-stratigraphischer Untersuchungen in der westlichen Böhmischem Masse. – In: Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Vorerkundungsarbeiten Lokation Oberpfalz. – 2. KTB-Kolloquium Seeheim/Odenwald 19. 9.–21. 9. 1986; 15, Seeheim.

- GOHLA, K. H. (1984): Bergwerksportrait: Graphit aus Kropfmühl. Eine Lagerstätte im Bayerischen Wald stellt sich vor. – *Magma*, **4**: 27–51, Bochum.
- (1986): Graphit im Raum Passau. – *Schr.-Reihe Bergbau- und Industriemus. Ostbayern*, **7**: 29–45, Theuern.
- GRAPHITWERK KROPFMÜHL AKTIENGESELLSCHAFT MÜNCHEN (1987): Informationen über Kropfmühl (Stand 1987). – 4 S., München.
- GRISSEMAN, CHR., HAUT, F. R., SCHULZ, R. & WEINELT, WI. (1982): Bodengeophysikalische Folgearbeiten auf aeroelektromagnetischen Anomalien in Ostbayern. Feldbeispiele mit Interpretationen. – *Kurzfass. Tagungsvortr. 42. Jahrestag. Dt. Geophys. Ges.*, **42**: 82, Hannover.
- GÜMBEL, C. W. VON (1868): Geognostische Beschreibung des Bayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen und Oberpfälzer Waldgebirges. – 968 S., Gotha (Perthes).
- KAPPEL, I. (1969): Die Graphittonkeramik von Manching. Die Ausgrabungen in Manching. – 2, Manching.
- MIELKE, H. (1985): Erste Lebensspuren aus Metasedimenten der Bunten Gruppe Ostbayerns (Fichtelgebirge und Oberpfälzer Wald). Ein weiterer Hinweis für deren Zuordnung in den Zeitabschnitt Oberstes Proterozoikum – Unterstes Kambrium. – *Geol. Bl. NO-Bayern*, **34/35**: 189–210, Erlangen.
- SCHMID, H. & WEINELT WI. (1978): Lagerstätten in Bayern. Erze, Industriemineralen, Salze und Brennstoffe. Mit einer Lagerstättenkarte 1:500 000. – *Geologica Bavarica*, **77**: 160 S., München.
- SCHULZ, H. (1926): Morphologie und randliche Bedeckung des Bayerischen Waldes in ihren Beziehungen zum Vorland. – *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beil.-Bd., Abt. B*, **LIV**: 289–346, Stuttgart.
- SENGPIEL, K.-P., REHLI, H. J. & WEINELT, WI. (1979): Hubschrauber-Geophysik im Meßgebiet Erlau-Kropfmühl, nordöstlich von Passau – Teil I: Elektromagnetik. – Teilber. Forschungsvorh. „Ausrüstung und Erprobung eines Hubschraubers für geophysikalische Messungen“ (NTS 6): 45 S., Hannover (B.-Anst. Geowiss. Rohstoffe).
- SETTMACHER, O. (1951): Die Mineralien und Gesteine der Passauer Graphitlagerstätte. – *Aufschluß*, **2**: 97–103, Roßdorf.
- (1952): Geschichte des Graphitbergbaues im Bayerischen Wald. – 24 S., Perling-Oberndorf, [Vervielfält. Masch.-Schr.].
- THIELE, O. (1984): Zum Deckenbau und Achsenplan des Moldanubikums der Südlichen Böhmischem Masse (Österreich). – *Jb. Geol. B.-A.*, **126**: 512–523, Wien.
- TÖPPER, W. (1961): Beitrag zum Mineralbestand und zur Geochemie der Graphitlagerstätte Kropfmühl-Pfaffenreuth bei Passau/Donau. – *Diss. Techn. Univ. Berlin*: 107 S., Berlin.
- VOULTSIDIS, V. (1973): Petrographische und geochemische Untersuchungen an Amphiboliten des Bayerischen Waldes. Ein Beitrag zur Klärung ihrer Genese. – *Diss. Univ. München*: 96 S., München.
- WEINSCHENK, E. (1897): Zur Kenntnis der Graphitlagerstätten des Bayerisch-böhmischem Grenzgebirges. – *Habilitationsschr. Univ. München*. – [Abh. Kgl. Bayer. Akad. Wiss. II. Cl., II. Abt., **19**, München].
- WEIS, A. & HOFMANN, U. (1951): Batavit. – *Z. Naturforsch.*, **6 b**: 405–409, Tübingen.
- (1951): Faseriger Vermiculit von Kropfmühl bei Passau. – *Acta Albertina Ratisbonensis*, **20**: 53–57, Regensburg.
- WIMMER, G. (1981): Neue Mineralfunde in der Graphitgrube Kropfmühl, Passauer Wald/Niederbayern. – *Aufschluß*, **31**: 101–111, Heidelberg.



## Flußspat

Von MARGRET VIERNSTEIN

Mit 2 Abbildungen und 1 Foto

### Geschichte des Flußspatbergbaus in Bayern

Im Frankenwald, gebunden an die Frankenwälder Querzone, treten Flußspatgänge auf, die zwischen 1936 und 1969 bergbaulich neu erschlossen wurden. Seither ruht dort der Abbau.

Von jeher bedeutender waren die Oberpfälzer Gänge, die bereits im 15. und 16. Jahrhundert – allerdings wegen ihres Silbergehaltes im Bleiglanz – abgebaut wurden. Von 1700–1750 wurde Bleiabbau betrieben und erst seit 1823 überwiegend der Flußspat gewonnen. Ab 1877 liegen verlässliche Aufzeichnungen der Bergbaubehörde vor: Seither gibt es eine ununterbrochene Gewinnung von Flußspat.

Im Nabburg-Wölsendorfer Revier sind ca. 50 Flußspatgänge durch bergmännische Arbeiten oder Schürfe bekannt, davon wurden 35 durch fördernde Gruben auf 30–300 m Teufe aufgeschlossen. 1986 waren nur mehr die Gruben Hermine und Helene in Betrieb.

Im Donaustaufer Revier waren von 12 bekannten Gängen 3 bauwürdig. Sulzbach I und II sind erschöpft. Im Abbau ist derzeit (1986) nur Kittenrain („Schönfärbiges Bergwerk“).

### Unternehmen

Der von den Vereinigten Aluminium-Werken (VAW) betriebene Abbau im Wölsendorfer Revier beschäftigte 1986 insgesamt 48 Personen, davon 28 in der Grube Hermine.

Seit 1971 gehört das Bergwerk Kittenrain der Handels- und Finanzierungs-gesellschaft mbH in Goslar. 4 Personen sind derzeit dort tätig.

Die im Privatbesitz des Herrn FREITAG befindliche Grube Helene ist ein Einmannbetrieb.

Aufbereitung und Vertrieb des in allen 3 Gruben gewonnenen Flußspats erfolgt in Stulln über die VAW.

### Geographische Lage

In Abbildungen 1 und 2 sind die Flußspatreviere der Oberpfalz mit ihren einzelnen Gangvorkommen dargestellt.

Das Nabburg-Wölsendorfer Revier liegt in der nordwestlichen Fortsetzung des Pfahls, 50 km nördlich von Regensburg, beiderseits der Naab. Seine Längserstreckung von SE nach NW beträgt rund 20 km, seine Quererstreckung in SW-NE-Richtung etwa 8 km.

Das Donaustaufer Revier, 10 km östlich von Regensburg, besitzt eine E-W-Erstreckung von rund 10 km und eine N-S-Ausdehnung von etwa 2 km.

### Geologie und Entstehung der Lagerstätten

Die Flusspatgänge durchsetzen überwiegend Granite, in lokal angrenzenden Gneisen fiedern sie auf bzw. keilen rasch aus.

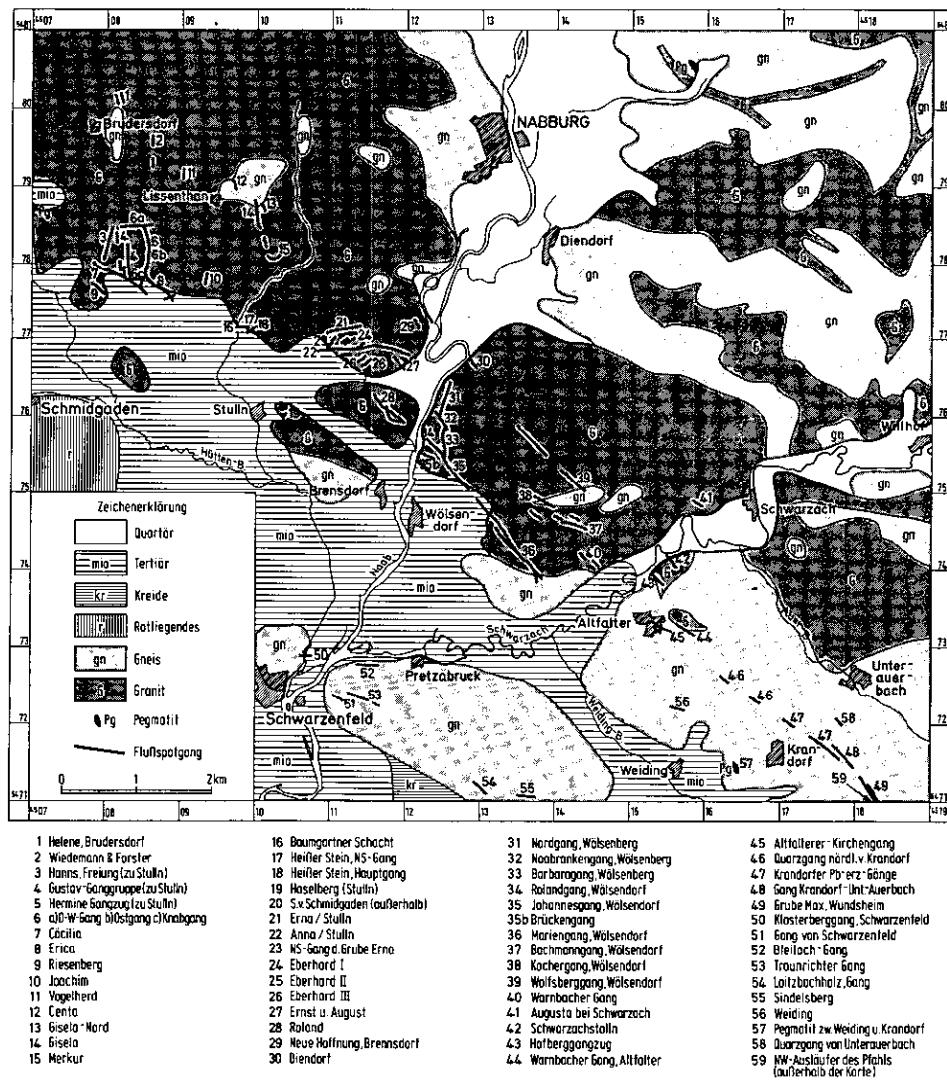


Abb. 1. Lage der Flusspatgänge im Nabburg-Wölsendorfer Revier.

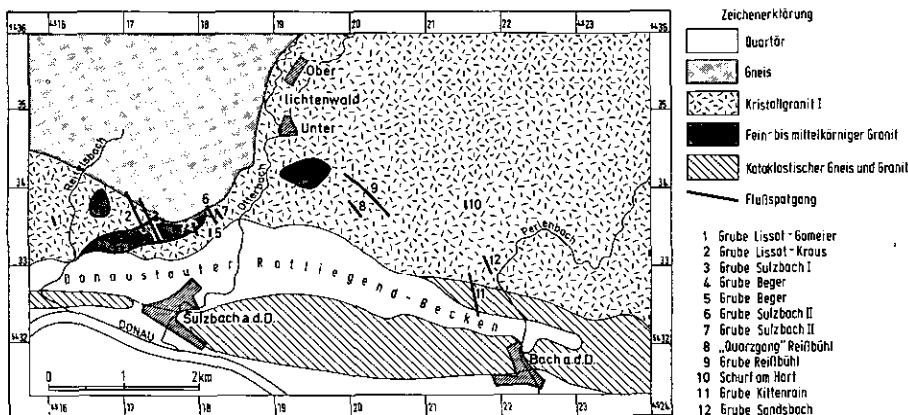


Abb. 2. Lage der Flußspatgänge im Donaustaufer Revier.

Lage und Ausbildung der Gänge zeigt ihre Abhängigkeit von der Tektonik: im Naabgebirge und im Donaustaufer Raum kreuzen sich Pfahl- bzw. Donau- randbruch-parallele, NW-SE verlaufende Störungen mit NNW-SSE bzw. N-S- streichenden, in deren unmittelbarer Nachbarschaft die Flußspatreviere liegen. Vertikale und horizontale Bewegungen haben zum Aufreißen der steilstehenden und den Hauptstörungsrichtungen folgenden Gänge geführt. In die sich während mehrphasiger Bruchtektonik öffnenden Spalten drangen  $\text{Ca}^{++}$ - und  $\text{F}^-$ -reiche Hydrothermen, die das Nebengestein nur lokal im cm- bis dm-Bereich beeinflußten.

Die Gänge sind einige dm bis m mächtig, aus mehreren Gangtrümmern zusammengesetzte Partien erreichen auch über 10 m. Sie erstrecken sich über eine Länge bis ca. 2 km und sind bis maximal 300 m Teufe durch Abbau erschlossen. Die Gangmächtigkeit nimmt generell zur Teufe hin ab, wobei sich der Gang in mehrere Trümer spaltet und der Flußspatgehalt auf Kosten von Schwerspat, Quarz oder Karbonat sinkt.

In der Längserstreckung ist ebenfalls ein Auffiedern der Gänge zu beobachten. Oft lenken sie gegen vermutlich horizontale Querverwerfungen hin um und werden letztlich von ihnen vollständig abgeschnitten.

Keiner der Gänge vertaut nach oben, vielmehr streichen alle an der Oberfläche aus bzw. werden nur von geringmächtigem Verwitterungsschutt bedeckt.

Da Altersbestimmungen an dem Gangmineral Paradoxit ein wesentlich jüngeres Alter ( $254 \pm 6$  Ma) als das der umgebenden Granite (Neunburger Granit 320 Ma, Flossenbürger Granit  $293 \pm 11$  Ma) ergeben, wird angenommen, daß die Hydrothermen von tiefer liegenden Granitplutonen, die evtl. auch als Materiallieferanten dienten, aktiviert wurden.

HORN et al. (1986) vermuten aufgrund von übereinstimmenden Isotopenverhältnissen eine genetische Verwandschaft der Lösungen, die den Pfahlquarz einerseits und die Mineralisation der Flußspatgänge andererseits brachten.

## Wasserhaltung

In der Grube Hermine tritt aus dem Granit abhängig von der Jahreszeit unterschiedlich viel Kluftwasser aus. Durchschnittlich 600 m<sup>3</sup>/d werden von der Pumpensumpfteufe auf der 270 m Sohle zuerst auf die 210 m Sohle, dann zur Grube Cäcilia und von dort nach oben in den Vorfluter gepumpt.

In Kittenrain werden die natürlichen Zuflüsse von ca. 300 m<sup>3</sup>/d von den zwei Sumpfstrecken direkt in die Vorflut gepumpt.

## Mineralisation

Die Gangfüllung besteht neben Flußspat auch aus Schwerspat und Quarz. Häufig sind Nebengesteinseinschlüsse (Granitbreccien) und Dolomit sowie Calcit vorhanden. An weiteren Primärmineralien kommen untergeordnet vor: Uranpecherz, Coffinit, Brannerit, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit, Markasit, Safflorit, Hämatit, Gersdorffit, Linneit, Bravoit, Schapbachit, Cu-Hg-Fahlerz, Clausthalit, Paradoxit und Zinnober als Einschluß im Flußspat.

Auf den Gängen treten mehrere Fluorit- und Baryt-Varianten bzw. Generationen auf. Schematisiert man die Mineralabfolge, so ergeben sich drei Hauptzyklen:

1. Kristallisation der dunkelvioletten Flußspäte und Stinkspäte, von Uran- und anderen Erzmineralen, von Quarz und Karbonaten.
2. Kristallisation von violettem und grünem Flußspat (meist in rhythmischer Wechsellagerung), Quarz und Schwerspat.
3. Ausklingen der Mineralisation mit Bildung heller Flußspäte und nochmaligem Absatz von Erzen, Karbonaten und Schwerspat.

Ungestörte bilateral symmetrische Gänge mit den ersten Ausscheidungen am Salband und den jungen in der Gangmitte sind selten, da die einzelnen Mineralisationsphasen durch tektonische Vorgänge eingeleitet wurden, und tektonische Bewegungen auch während und z. T. noch nach der Mineralisation stattfanden. Mineralabsatz und tektonische Gangaufweitungen lösten einander alternierend ab. Mitunter wurden auch ältere Mineralbildungen wieder zerschert, jüngere Minerale durchschneiden diskordant ältere. In jüngeren Mineralabfolgen liegen Breccien von älteren und auch Nebengesteinsbreccien kommen in der Gangfüllung vor. Aus tektonischen Gründen treten nicht alle Mineralgeneratoren auf jedem Gang auf. Unabhängig von der Tektonik ist aber im Nabburg-Wölsendorfer Revier auch die primäre horizontale und vertikale Gliederung der Gänge:

Um eine Zentralzone im Raum Wölsendorf, wo sich die älteste Mineralabfolge mit dunklen Flußspäten durch hohe Radioaktivitätswerte auszeichnet, scharen sich Gänge, deren Radioaktivität sogar geringer als die des umgebenden Granits ist. Im randlichen Bereich des Reviers treten dann schließlich neben Gängen mit vorwiegend Flußspatführung solche auf, in denen Schwerspat dominiert. Quarz, Karbonat und Erze werden sowohl nach SE als auch zur Teufe hin häufiger.

Im allgemeinen finden sich die jüngeren, nieder temperierten Minerale vor allem in den unteren Teilen der Lagerstätten.

Der in Kittenrain/Donaustaufer Revier im Abbau befindliche Gang führt nur Flußspat und Quarz (ungefähr im Verhältnis 1:1). Der Gang gilt praktisch als schwefelfrei. Baryt ist mit 0,4% nicht sichtbar. Pyrit, Bleiglanz und Zinkblende treten selten in Queradern oder am Kontakt zum Nebengestein auf. In der Teufe nimmt Quarz zu, auch Eisenhydroxide werden häufiger (4–5% FeOOH).

### Gruben Hermine und Kittenrain

Unter den N-S-Gängen des Nabburg-Wölsendorfer Reviers ist der Hermine Gangzug der bedeutendste.

Er wurde auf 400 m streichende Länge und bis auf 270 m Teufe abgebaut. Im Mittelteil dieses verzweigten Gangsystems konsolidiert sich die Gangführung zu 2 Gängen, die sich oberhalb der 60 m und unter der 120 m Sohle sogar zu einem einzigen Hauptgang vereinen. Die Mächtigkeit beträgt dort bis zu mehreren Metern.

Die geringmächtigen Salbandflußspäte sind violett, reiner grüner Fluorit herrscht vor. Baryt wird mehrere dm mächtig, Quarz tritt stark zurück.

Vor allem im südlichen Teil treten Granitbreccien (z. T. serizitisiert und kaolinitisiert) auf, die lokal konzentrisch von Flußspat und Quarz umwachsen sind. Sowohl im N als auch im S schneiden Störungen den Gang senkrecht bis spitzwinkelig. Im N endet der Gang, im S folgt mit einem horizontalen Versetzungsbetrag von 5 m der Erika Gang.

Der etwa 2 m mächtige Gang von Kittenrain im Donaustaufer Revier hat eine Längserstreckung von ca. 450 m und ist bis ca. 150 m Teufe abbauwürdig. Die Mächtigkeit nimmt nach N ab, im S wird der Gang von einer Verwerfung abgeschnitten. Wegen des zunehmenden Quarzgehaltes ist der Gang unter der 150 m Sohle nicht mehr bauwürdig.

### Gewinnungstechnik

Auf der Grube Hermine erfolgte der Abbau seit 1963 mittels der Methode des Festenbaus.

Bei dieser versatzlosen Gewinnungsmethode ist sehr standfestes Nebengestein Voraussetzung. Eine Gangfläche wird dabei in der ersten Phase etwa schachbrettartig von unten nach oben durchörtert. Die Hereingewinnung der belassenen Gangfesten oder Deckel erfolgt anschließend von oben nach unten.

In Kittenrain erfolgt die Gewinnung durch modifizierten Firstenstoßbau mit Magazinierung des Hauwerks.

## Förderung

Die Jahresförderung der Grube Hermine betrug 1986 ca. 24 000 t, entsprechend einer Mann/Schichtleistung im Abbau von 10,5 t. Die Gesamtleistung lag bei 2,86 t per Mannschicht.

Die Förderungsmethode ist gleisgebunden, das Hauwerk wird aus den Sammelrollen in Hunte abgezogen und zum Förderkorb gebracht.

In Kittenrain wurden 1986 1800 t abgebaut.

## Aufbereitung

Das ca. 30%  $\text{CaF}_2$  enthaltende Hauwerk muß auf mindestens 97%  $\text{CaF}_2$  angereichert werden. Dies geschieht in 3 Hauptstufen:

1. Die Handscheidung, in der grobe Nebengesteinsbrocken entfernt werden und bereits eine Anreicherung auf ca. 38%  $\text{CaF}_2$  erfolgt.
2. Die Sinkscheideanlage, wo das auf 3–30 mm zerkleinerte Material in einer Schweretrübe ( $D = 2,6$ ) in Sinkgut ( $\text{CaF}_2$  und  $\text{BaSO}_4$ ) getrennt wird. Anreicherung auf ca. 80%  $\text{CaF}_2$ .
3. Das beim Brechen angefallene Material von unter 3 mm (jedoch ohne Tonfraktion) mit durchschnittlich 40%  $\text{CaF}_2$  wird mit dem Sinkgut gemischt und in einer Flotationsmaschine auf die erwünschten 97%  $\text{CaF}_2$  angereichert.

## Verwendung

Der in der Grube Hermine (bzw. Kittenrain und Helene) geförderte Flußspat wird fast ausschließlich zur  $\text{H}_2\text{F}_2$ - bzw.  $\text{AlF}_3$ -Produktion verwendet. Hauptabnehmer sind die VAW selbst, die in Stulln eine Flußsäurefabrik betreiben.

## Literatur

- BAUBERGER, W. (1967): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6539 Nabburg. – 151 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BAUBERGER, W. & STREIT, R. (1982): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6538 Schmidgaden. – 186 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HORN, P., KÖHLER, H. & MÜLLER-SÖHNUS, D. (1986): Rb-Sr-Isotopengeochemie hydrothermaler Quarze des Bayerischen Pfahles und eines Flußspat-Schwerspat-Ganges von Nabburg-Wölsendorf/ Bundesrepublik Deutschland. – Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sect.), 58: 259–272, Amsterdam.
- KRAUS, G. (1958): Tektonik und Genese der Flußspatgänge östlich von Regensburg, Bayerischer Wald. – N. Jb. Mineral. Abh., 92: 109–146, Stuttgart.
- RIEDEL, H. (1954): Untersuchungen im Flußspatlagerstättenbereich westlich der Naab in der Oberpfalz. – N. Jb. Mineral. Abh., 87: 240–320, Stuttgart.
- SCHMID, H. & WEINELT, W. (1978): Lagerstätten in Bayern. – Geologica Bavarica, 77: 160 S., München.
- WEISS, K. (1979): Der Oberpfälzer Flußspat. – Bergbau, 415: 185–189, 261–267, Gütersloh.

## Kaolin

Von ALBERT DOBNER

Mit 3 Abbildungen, 2 Tabellen und 2 Fotos

Die bedeutendsten Kaolinlagerstätten und die darauf umgehenden Abbaue liegen in der Oberpfalz im Raum Hirschau – Schnaittenbach, Freihung und Tirschenreuth. Dazu kommt ein Abbaubetrieb in Oberfranken bei Creussen. In all diesen Gruben werden als beibreichendes Material Quarz und meist auch Feldspat gewonnen (Tab. 1). Im folgenden werden diese Minerale, die hier dem Kaolin häufig an wirtschaftlicher Bedeutung gleichkommen, weitgehend mit dem Kaolin beschrieben. Lediglich ihrer Aufbereitung und Verwendung wird je ein spezielles Kapitel gewidmet.

### Das Revier um Hirschau – Schnaittenbach

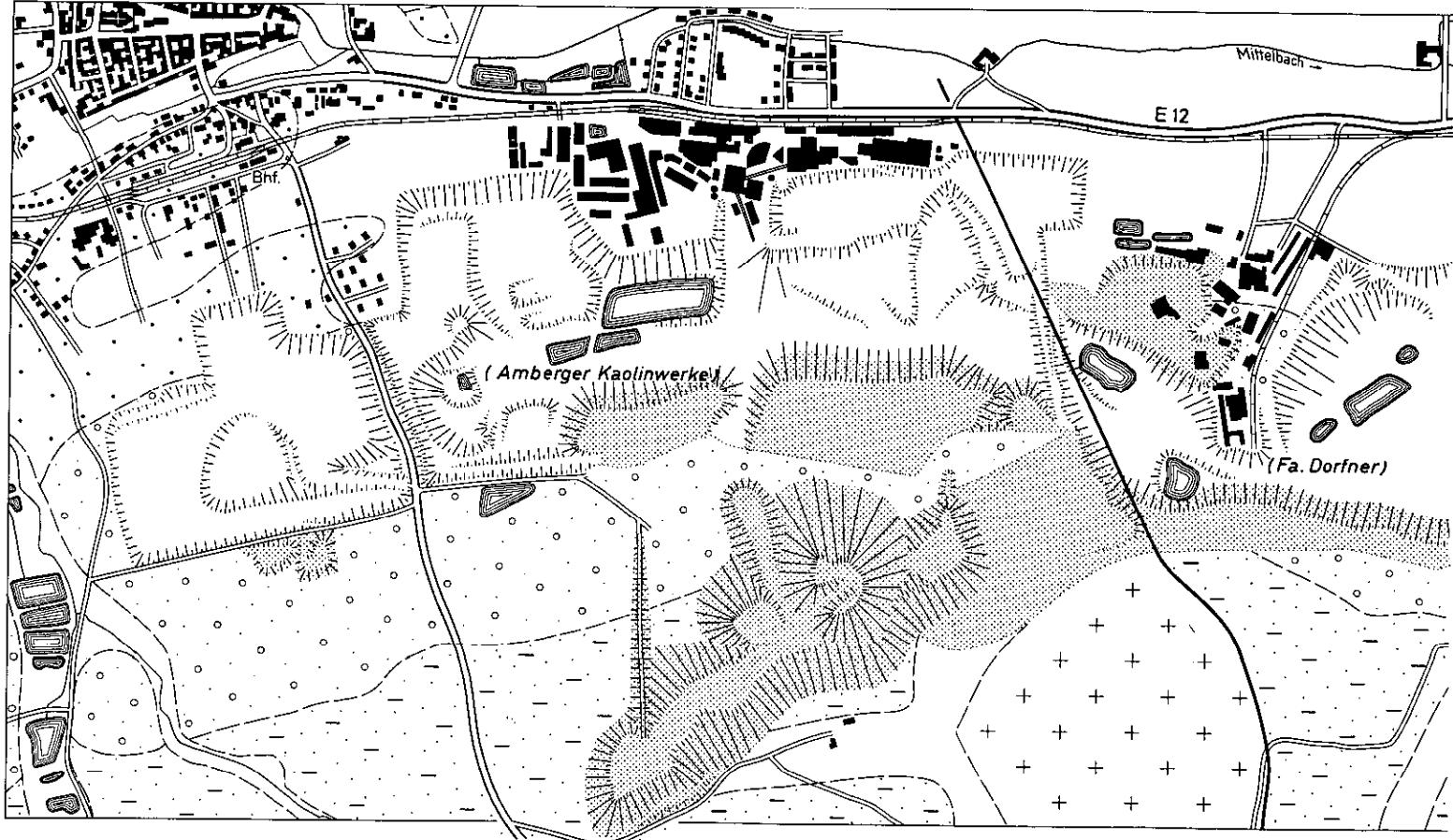
#### Unternehmen

Der Schwerpunkt der Kaolingewinnung in Bayern liegt südlich der Orte Hirschau und Schnaittenbach. Hier betreiben heute die Firmen Amberger Kaolinwerke GmbH Hirschau, Gebrüder Dorfner OHG Hirschau und die Firma Eduard Kick GmbH & Co. KG Schnaittenbach große Tagebaue (Abb. 1).

Die bei Schnaittenbach im Jahr 1833 beginnende Kaolingewinnung war ein Untertageabbau. Ausgehend von bis zu 10 m tiefen Schächten, sog. „Kellern“, wurden diese, soweit es die Standfestigkeit des Gebirges erlaubte, im Sohlenbereich erweitert und die Roherde mit Kübeln und Seilwinden gefördert. Erst im Jahr 1883 wurde die Förderung auf Tagebaubetrieb umgestellt. Die Verlegung der Bahn in die Nähe der Betriebe unterstützte die wachsende Bedeutung dieses Industriezweiges. Ihre heutige Ausdehnung erhielten die Gruben überwiegend erst mit der Einführung moderner Technik und Transportsysteme nach dem 2. Weltkrieg.

#### Lagerstätte

Der ca. 60 m (max. bis 75 m) mächtige Hauptbuntsandstein oder Mittlere Buntsandstein, der die Lagerstätte darstellt, zieht in seinem Ausbiß am Nordrand des kristallinen Naabgebirgsvorsprungs ca. 6 km in E-W-Richtung. Da dieses Schichtpaket nach Norden einfällt, erreicht der Ausbiß in N-S-Erstreckung kaum 1 km. Im Ausbißbereich fällt die Lagerstätte mit  $7^{\circ}$ – $10^{\circ}$  ein (vgl. Taf. 4: Foto 1). Unter dem Oberen Buntsandstein als Hangendem verflacht das Einfallen nach Norden auf  $4^{\circ}$ – $5^{\circ}$ . In weiten Bereichen bilden die Schichten der Permotrias, rote Arkosen und Konglomerate in unterschiedlicher Mächtigkeit, örtlich auch kristallines Grundgebirge, das Liegende. Der Hauptbuntsandstein



Ausdruck siehe Karte unten links

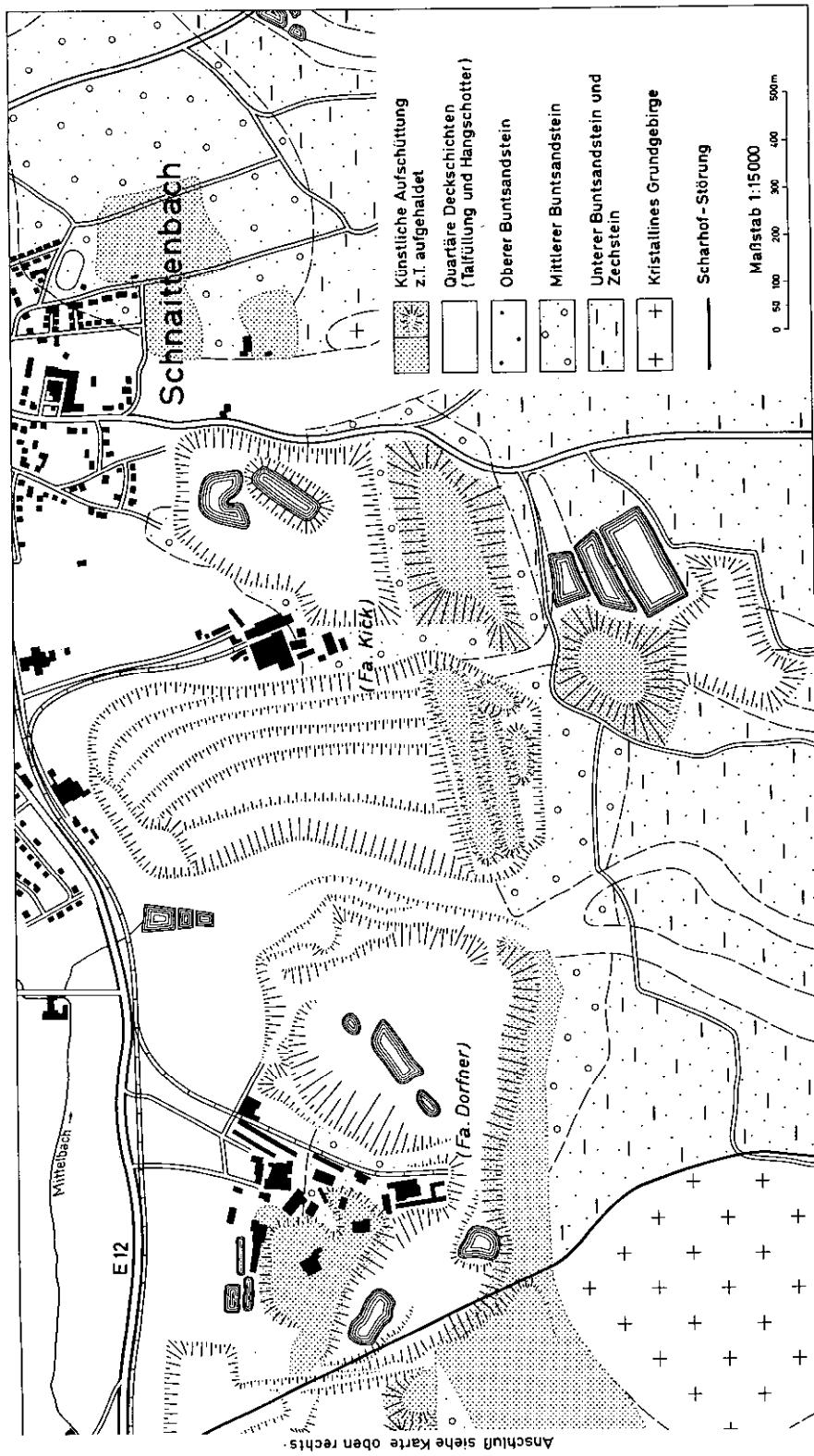


Abb. 1. Die Gruben bei Hirschau (Fa. Amberger Kaolinwerke und Fa. Dorfner) und Schnaittenbach (Fa. Kick).

wird hier in 2 Einheiten gegliedert. Die untere Einheit wird als „Kulmbacher Konglomerat“ bezeichnet (STEINLEIN 1953) und erreicht nach BAUBERGER et al. (1960: 34) 25–35 m, wobei die stark mit Großgerölle (Durchmesser bis zu 60 cm) durchsetzte Sandsteinschicht nur ca. 1–5 m mächtig ist. Gegen das Hangende nehmen die Großgerölle (Quarzbrekzien, bunte Quarzkonglomerate, Granite, Porphyre und Gneise) ab, so daß die Grenze zum höheren Hauptbuntsandstein fließend ist. Die abnehmende Grobkiesführung und die zunehmende Kaolinisierung der Arkosesandsteine markieren den Übergang. Der höhere Hauptbuntsandstein mit einer Mächtigkeit bis zu 40 m bildet den Hauptteil der Lagerstätte. Charakteristisch für diese Schicht sind die hellen, kiesführenden Arkosesandsteine, die im Hangenden von den feinkörnigen, wenig kaolinisierten und teils kräftig gefärbten und nicht gewinnbaren Sandsteinen des Oberen Buntsandsteins begrenzt werden. Als wichtigstes tektonisches Element im derzeitigen Abbaubereich ist die sog. Scharhofstörung zu nennen, die zwischen Hirschau und Schnaittenbach in NNW-SSE-Richtung streicht und an der östlichen Lagerstättenteil um ca. 300 m nach Süden versetzt ist. Kleinere treppenartige Abschiebungen in E-W-Richtung im Dezimeter- und Meterbereich sind örtlich zu beobachten, sind aber für die Gewinnung nicht relevant. Trotz eines Porenvolumens von ca. 30% (Rohdichte im bergfeuchten Zustand je nach Wassersättigung zwischen ca. 1,9 und 2,1 g/cm<sup>3</sup>) sind die meist mürben Sandsteine infolge des feinkörnigen Kaolinanteils wenig wasserdurchlässig. Das aus der Wasserhaltung, die keine Probleme bereitet, gewonnene Wasser wird überwiegend für den Aufbereitungsprozess eingesetzt.

Nach Berechnungen von KÖSTER (1974) kann man vor dem Kaolinisierungsprozess, dessen Beginn mit der Sedimentation oder kurz nachher eingetreten ist, eine Zusammensetzung des Sandsteins von durchschnittlich 56% Quarz und 44% Feldspat ansetzen. Der Kaolinisierungsvorgang hat den Hauptbuntsandstein sowohl horizontal als auch vertikal unterschiedlich stark durchdrungen. Während der Quarzgehalt in der Lagerstätte zwischen Hirschau und Schnaittenbach nur wenigen Schwankungen unterliegt und mit ca. 70–75% angegeben werden kann, verschieben sich der Kaolinit- bzw. der Feldspatgehalt wie folgt:

	Kaolinit	Feldspat
Westfeld der Fa. AKW	ca. 10%	ca. 20%
An der Scharhofstörung	ca. 18–20%	ca. 5–10%
Grube der Fa. Kick	ca. 20–22%	ca. 1– 3%

In der östlichen Fortsetzung der Lagerstätte nimmt der Kaolinisierungsgrad wieder ab. Auch im vertikalen Profil sind Unterschiede des Kaolinisierungsgrades zu beobachten. Die über den permotriadischen Schichten liegende geröllreiche Zone (unterer Teil des Kulmbacher Konglomerates) enthält auch im Bereich der stärksten Kaolinisierung (Grube Fa. Kick) noch Feldspäte von einigen Prozent. Darüber folgt der Profilabschnitt (ca. 20–35 m) mit der stärksten Kaolinisierung, so daß in dieser Zone südwestlich von Schnaittenbach keine Feldspäte mehr auftreten (K-Gehalt < 0,3%). Darüber folgt bis zum Hangenden (Oberer Buntsandstein) eine Zone (ca. 15–20 m) geringerer Kaolinisierung. Diese Dre-

gliederung setzt bereits südöstlich von Schnaittenbach ein (SALGER 1958) und läßt sich in ihrer Tendenz zumindest bis zur Scharhofstörung verfolgen.

Die Lagerstätte ist nicht nur in ihrem Kaolinisierungsgrad stark schwankend, sondern auch in ihrer Kornzusammensetzung komplex aufgebaut. Neben den im Kulmbacher Konglomerat auffälligen Großgeröllanreicherungen sind Lagen im Dezimeter- und Meterbereich von unterschiedlichem Ton-, Schluff- und Sandanteil zu beobachten; einzelne Lagen enthalten einen Kiesanteil bis 46%, andere hohen Feinkornanteil mit einem Tongehalt ( $< 2 \mu$ ) bis über 30%. Das geförderte Haufwerk, das als Roherde einen Durchschnitt über die Lagerstätte repräsentiert, ist als kiesiger, schwach schluffiger, schwach toniger (mit zunehmender Kaolinisierung auch toniger) Sand bzw. mürber Sandstein anzusprechen. Die Kornzusammensetzung entspricht einer fluviatilen Sedimentation und ist relativ schlecht sortiert.

### Lagerstätteninhalt

Der Kaolinit (Gesteine oder Produkte mit überwiegend Kaolinit werden als Kaolin oder Kaolineerde bezeichnet) stellt in der Lagerstätte bei Hirschau und Schnaittenbach das wichtigste Mineral dar. Es bildet hexagonale Plättchen von vollkommener Spaltbarkeit nach der Basis und ist hier besonders gut kristallisiert. Häufig treten basisparallele Verwachsungen (sog. Geldrollenstruktur) auf, wodurch größere Mineralaggregate entstehen. Als Besonderheit ist ein geringer Bleigehalt (bis 0,15% Pb) zu erwähnen, dessen Ursprung im Granit des Naabgebirges angenommen wird. Das Bleiion vertritt hier im Kristallgitter das Kaliumion. Die Kaolinitplättchen sind vorwiegend in den Feinkornfraktionen angereichert. In den Fraktionen 6–20  $\mu$  und 20–60  $\mu$  sind sie mit ca. 20% und die Tonfraktion  $< 2 \mu$  mit ca. 17% vertreten. Kornaggregate über 60  $\mu$  sind nur noch in wenigen Prozent vorhanden und in der Fraktion  $> 120 \mu$ , wenn überhaupt, nur noch in Spuren nachzuweisen. Während der Aufarbeitung kommt es, meist auch beabsichtigt, zur mechanischen Trennung der Mineralaggregate, so daß der in den Handel kommende Kaolin in der Regel noch einen geringen Anteil  $> 10 \mu$  enthält.

Feldspäte liegen in der Roherde überwiegend als Feinsand (0,06–0,2 mm) und Mittelsand (0,2–0,6 mm) vor. Einige Prozent entfallen auf die Schluffkornfraktion (2–60  $\mu$ ) und den Grobsand. In der Ton- und Kiesfraktion sind diese Minerale so gut wie nicht vertreten. Lediglich in den Großgerölle führenden Schichten fallen einzelne grobe Feldspäte ins Auge. Der Orthoklas (Kalifeldspat) stellt den Hauptanteil, daneben kommt noch Natronfeldspat vor. Letzterer tritt kaum als eigenes Korn in Erscheinung, sondern als perthitische Entmischung (leistenförmige Ausscheidungen) innerhalb des Kalifeldspatkristalls. Das Verhältnis schwankt zwischen ca. 10:1 und 8:1. Durch den Kaolinisierungsprozess sind die meisten Feldspatkristalle angelöst bzw. randlich kaolinisiert.

Quarz als das häufigste Mineral liegt vor allem in den Grobfraktionen der Roherde vor. In der Kornverteilung stellt der Grobsand (0,6–2 mm) den Hauptanteil. In der Kiesfraktion nimmt Quarz mit wachsender Korngröße zugunsten heterogen zusammengesetzter Gesteinspartikel ab, ist aber auch bei den Steinen

(> 60 mm) noch vertreten. Mit zunehmender Feinkörnigkeit sinkt der Quarzanteil ebenfalls ab, ist aber auch in der Tonfraktion meist noch deutlich nachweisbar. Die Quarze zeigen somit von der Korngröße das weitest gestreute Spektrum. Die Körner sind gerundet oder kantengerundet, teils mit Vertiefungen und unregelmäßigen Sprüngen an der Oberfläche. In der Sandfraktion sind sie hell durchscheinend, erst in der Grobfraktion sind sie milchig trüb. Einzelne kieselige Verwachsungen von Körnern kommen vor.

Neben den vorgenannten Hauptkomponenten treten noch Muskowit (wenig Biotit) und illitische Tonminerale in Mengen um 1% auf. Verschiedene Schwerminerale (Rutil, Anatas, Magnetit, Zirkon, Monazit, Xenotit und Turmalin) und deren Umwandlungsprodukte (Hämatit, Titanit) fallen zwar mengenmäßig kaum ins Gewicht (< 1%), stören aber in vielen Produkten und müssen bei der Aufbereitung entfernt werden.

### Kaolinabbau bei Tanzfleck

Die Rohstoffbasis der Fa. Freihunger Kaolin- und Feldspat-Werk GmbH, die die Grube Forsthof (Abb. 2) betreibt, bildet auch hier der Mittlere Buntsandstein (90–110 m mächtig). Die Grube Forsthof liegt an der Westflanke einer Buntsandsteinaufwölbung (Kaltenbrunner Sattel), die an der hier SE-NW streichenden Mauerhofstörung gegen die im Südwesten liegenden Schichten des Keupers herausgehoben ist. Die Schichten fallen im Grubenbereich mit ca. 8°–12° nach Westen ein. Die Grube erschließt derzeit den höheren Mittleren Buntsandstein in einem bis zu 12 m tiefen Trockenabbau. Darunter ist noch bis zu 60 m verwertbare Lagerstätte nachgewiesen, von der in einem kleinen Grubenbereich (heute Weiher) früher bis zu 12 m unter der heutigen Grubensohle Material abgegraben wurde. Der kreuz- und schräggescichtete, mürbe, helle Sandstein besteht hauptsächlich aus Grobsand (ca. 33%) und Mittelsand (ca. 32%). Die Feinsandfraktion ist mit ca. 8% vertreten. Auf die abschlämmbaren Bestandteile (< 63  $\mu$ ) entfallen ca. 16%, davon etwa ein Fünftel auf die Tonfraktion < 2  $\mu$ . Kiese, von denen einzelne Körner einen Durchmesser von mehreren Zentimeter erreichen, sind in der Roherde mit 10–12% enthalten. Das gewinnbare Sandsteinmaterial ist von grünen, im Kern dunkelrot gefärbten Feinsedimentlagen durchzogen, die beim Abbau ausgehalten werden müssen.

Von den einzelnen Mineralen, aus denen die Roherde zusammengesetzt ist, entfallen ca. 60–66% auf Quarz, dessen Körner unregelmäßig geformt und milchig trüb bis klar sowie teils mit eingelagerten feinsten Rutilnadeln auftreten. Verglichen mit den Quarzkörnern aus dem Revier Hirschau-Schnaittenbach scheinen sie einen höheren Anteil an splittrigen Quarzbruchstücken zu enthalten, der bis in die Schluff- und Tonfraktion nachzuweisen ist. Die Feldspäte sind fast ausschließlich Mikrokline (K-Feldspat) mit kryptoperthitischen Entmischungen und beginnender Kaolinisierung an den Spaltrissen. Gelegentlich werden auch Verwachsungen mit Glimmern beobachtet. An der Roherde sind Feldspäte mit ca. 30% (21–33%) beteiligt. Der Kaolinit, dessen Anteil zwischen 8–10% liegt, ist gut kristallisiert und zeigt hier wie in den Gruben bei Hirschau-Schnaittenbach basisparallele Verwachsungen (Geldrollenstruktur). Die für den

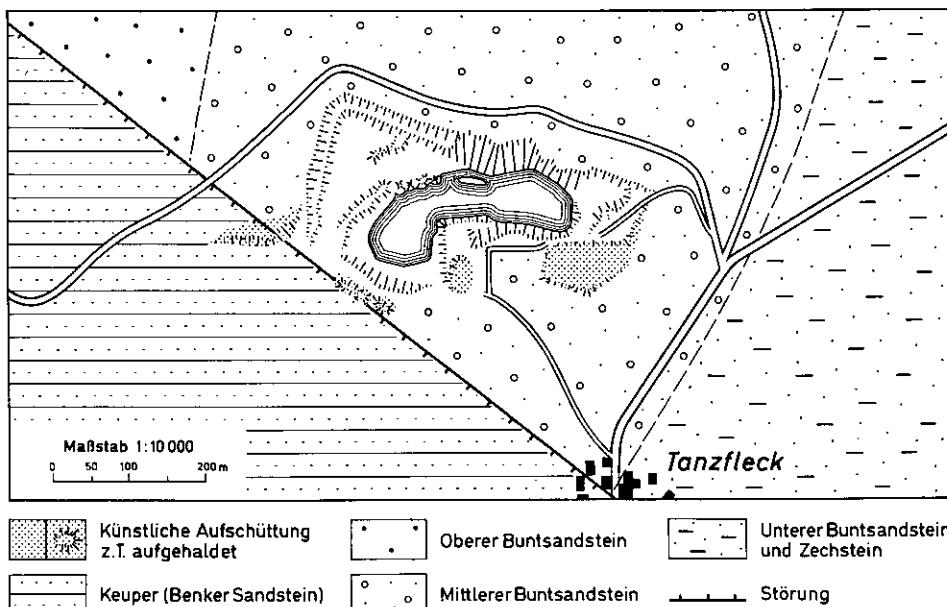


Abb. 2. Die Grube Forsthof bei Tanzfleck der Fa. Freihunger Kaolin- und Feldspatwerk.

Mittleren Buntsandstein typischen Schwerminerale (Zirkon, Xenotim, Monazit, Turmalin, Rutil, Anatas) erreichen kaum 1%. Die Glimmerminerale, die hauptsächlich in den unbrauchbaren tonigen Zwischenlagen konzentriert sind, können in einzelnen Bereichen 4% erreichen, meist liegt ihr Anteil aber weit unter diesem Wert. Sie sind weitgehend zersetzt, in Illit (z. T. Mixedlayer-Mineralen) umgewandelt und vor allem die Biotite sind stark gebleicht.

### Kaolinabbau bei Tirschenreuth

#### Unternehmen

Bereits im Jahr 1830 wird bekannt, daß im Raum Tirschenreuth „Porcellain-Erde“ gefunden wird und wenige Jahre später wird aufgrund dieser Vorkommen eine Porzellanfabrik errichtet. Heute betreiben die Fa. Hutschenreuther AG mit dem Werk für Keramische Rohstoffe und Massen, Tirschenreuth, und die Fa. Theo Weidermann, Wunsiedel, vier Tagebaue. Erstgenannte Firma betreibt die Gruben Rappauf und Schmelitz (Abb. 3), letztgenannte die nebeneinander gelegenen Gruben Curt I und II.

#### Lagerstätte

Das Ausgangsgestein für die Kaolinlagerstätte stellt hier ein Zweiglimmergranit als eine Varietät des Falkenberger Granits dar, dessen Massiv mit seinem Nordrand im engen Kontakt mit moldanubischen Gneisen steht. Der überwie-

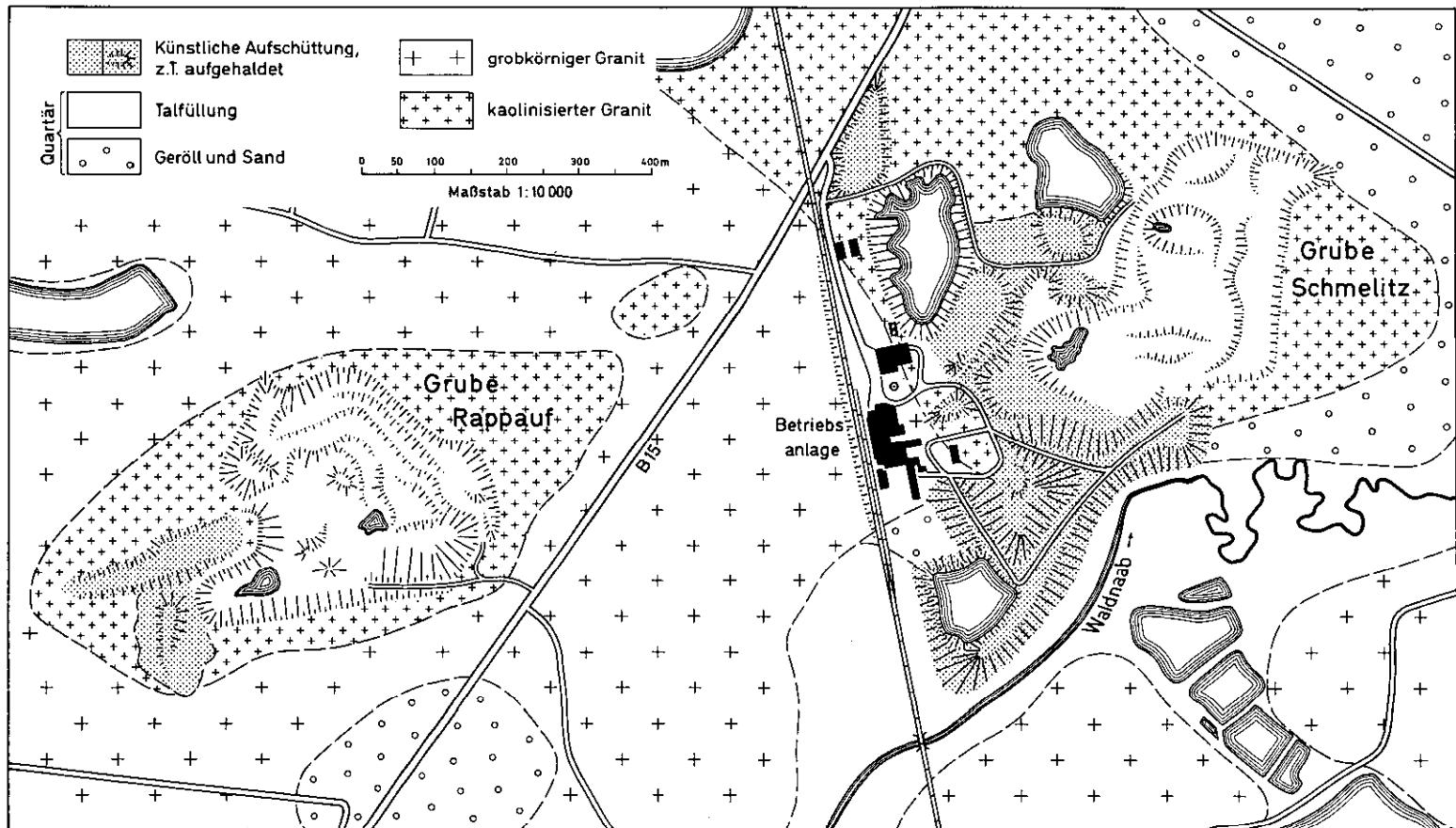


Abb. 3. Die Gruben Rappauf und Schmelitz der Fa. Hutschenreuther AG bei Tirschenreuth. –  
Geologie nach STROBEL (1969).

gend grob- bis mittelkörnige Granit, der sich insbesondere durch große Mikroklinkristalle mit Zwillingsbildung auszeichnet, enthält nach KÖSTER (1974) folgende Mineralzusammensetzung: Alkalifeldspat (perthitischer Mikroklin) 28,0%, Plagioklas (Albit-Anorthit) 24,0%, Quarz 36,6%, Biotit 5,8%, Muskowit 4,0%, Akzessoria 1,6%. Der Granit um Tirschenreuth wurde in mehreren teils zusammenhängenden, teils inselartigen Arealen von der Oberfläche her kaolinisiert. Die Kaolinisierung dieses von vielen Quarz- und Pegmatitgängchen (cm- bis dm-Bereich) durchschwärmt Gesteins ist weitgehend an tektonische Strukturen gebunden. Möglicherweise ist der Randbereich des Massivs als ganzes gegenüber dem Zentrum etwas abgesunken. Die nachfolgende Beschreibung stützt sich überwiegend auf die Untersuchungen von STROBEL (1969). Danach reichen die Zersetzungszonen gang- und linsenförmig in die Tiefe, sind bereichsweise asymmetrisch steil einfallend und wechseln mit Bereichen unzersetzter Gesteine ab. Nach derzeitiger Kenntnis reicht die Kaolinisierung in der Regel bis ca. 30 m unter die Oberfläche, in Ausnahmefällen auch über 60 m in die Tiefe. Die Kaolinisierung hat das Gestein stark gebleicht und aufgelockert.

### Lagerstätteninhalt

Durch den Zersetzungsprozess wurden die Plagioklase vollständig und die Biotite fast restlos zerstört bzw. in Kaolinit umgesetzt.

Kaolinit, dessen Anteil an der Roherde zwischen 20% und 30% schwankt und nur selten über 30% liegt, ist fast ausschließlich auf die Schluff- und Tonfraktion verteilt. Im Feinsandbereich trifft man dieses Mineral nur noch in Mengen um 1%. Röntgenuntersuchungen zeigen, daß das Kaolinitmineral relativ schlecht kristallisiert ist und mehr zum Typ Fire-clay tendiert.

Feldspäte belegen im Kornspektrum der Roherde zum Großteil die Sandfraktion mit Maxima teils im Grobsand, teils im Mittelsand, selten im Feinsand. Feldspäte, die Kieskorngröße erreichen, sind in einigen Lagerstättenbereichen mit bis zu 13% vertreten, der Durchschnitt liegt jedoch unter 5%. Im Schlämmkorn bringen es die Feldspäte auf 1–5%, in der Feinstfraktion ( $< 2 \mu$ ) sind sie selten, vereinzelt bis knapp 1%. Ihr Gesamtanteil liegt bei 30–40%, schwankt aber je nach Zusammensetzung des Ausgangsgesteins und Kaolinisierungsgrades in verschiedenen Lagerstättenbereichen nicht selten zwischen 20% und 50%. Feldspat liegt im wesentlichen als Mikroklin vor und nur vereinzelt konnte Na-Feldspat (Oligoklas) erkannt werden.

Glimmerminerale, deren Anteil sich zwischen 4% und 8% bewegt, sind über das Korngrößenspektrum relativ weit – von der Ton- bis zur Grobsandfraktion – verbreitet. Als Schwerpunkt sind die Fraktionen zwischen 6  $\mu$  und 200  $\mu$  anzusehen. Die Röntgenphasenanalyse läßt überwiegend Muskowite erkennen, daneben auch Biotite, die aber ihr Eisen durch Zersetzungsprozesse weitgehend verloren haben. Illite und Mixedlayer-Mineralen, die aus den Glimmermineralen entstanden sind, treten nur untergeordnet auf.

Schwerminerale, von denen Andalusit und Turmalin am häufigsten auftreten, spielen zwar mengenmäßig eine geringe Rolle, müssen aber bei der Aufbereitung von Kaolin abgetrennt werden.

### Kaolinabbau bei Creussen

Etwa 3 km südlich von Creussen bei Neuhaus betreibt die Fa. Sand- und Kaolinwerk K. Inzelsberger seit 1907 einen Quarzsandabbau und seit 1927 zusätzlich einen Kaolinabbau mit den entsprechenden Aufbereitungsanlagen. Die Lagerstättenbasis bildet dazu der Mittlere Burgsandstein (Keuper), der hier in seiner Kaolinfazies ansteht. Der Mittlere Burgsandstein, mit einer Mächtigkeit von 35–40 m, ist hell, teilweise kreuzgeschichtet und von einzelnen Tongallen durchsetzt. Die Grube Neuhaus erschließt im Tagebau mit ca. 20 m Tiefe den oberen Teil des Mittleren Burgsandsteins, der einige Grad nach Westsüdwesten einfällt und in diesem Profilabschnitt als Mürbsandstein vorliegt. Die Kaolinisierung, die Oberflächeneinflüssen während der Tertiärzeit zugeschrieben wird, nimmt gegen die Grubensohle etwas ab, so daß der Kaolinitanteil von ca. 13% an der Oberfläche auf ca. 11% an der Grubensohle abfällt. Der im Grubentiefsten noch anstehende Sandstein enthält ebenfalls noch Kaolinit, wird aber wegen seiner starken Verfestigung nicht mehr gewonnen. Neben dem Kaolinit, dessen Korngröße hauptsächlich zwischen 0,8 und 15  $\mu$  liegt, bildet der Quarz mit ca. 85% Anteil das wichtigste beibrechende Mineral. Von diesem ist im Grobsandbereich ein deutliches Maximum mit ca. 45% nachzuweisen. Es folgen Feinkiese mit ca. 28%. Der Rest verteilt sich auf Mittelkies sowie Mittel- und Feinsande. Feldspäte findet man sehr selten (K-Gehalte schwanken zwischen 0,45 und 0,55%). Der Kaolin hat hier die Qualität von Keramikkaolin, der Quarz stellt den Grundstoff für Edelputz.

### Gewinnungstechnik

Zur Abraumbeseitigung und zur Förderung der Roherden werden verschiedene Methoden angewandt. Dabei wird in den einzelnen Grubenbetrieben der maschinelle Einsatz der Lagerstättenausbildung und der Fördermenge angepaßt. Die häufig große Inhomogenität in den einzelnen Lagerstätten macht einen selektiven Abbau nötig, der oftmals in einzelnen Sohlen betrieben wird. Löffelbagger sind bei der Hereingewinnung die am häufigsten eingesetzten Maschinen. Örtlich ist das zu gewinnende Material so stark verfestigt, daß es durch Sprengungen gelockert werden muß. Zum Einsatz von Schaufelradbaggern kommt es vor allem dort, wo große Mengen zu bewältigen sind, da diese Geräte besonders leistungsfähig sind. Der Abtransport zu den Halden, die je nach Qualität getrennt sein können, und zum Mischbunker erfolgt mittels Bandstraßen oder Muldenkipper, in einem Fall auch über eine Seilbahn mit automatischer Entladeeinrichtung. In den meisten Fällen wird der Abbau vom Stoß nur im Sommer betrieben, während eine entsprechende Aufhaldung den kontinuierlichen Produktionsablauf über das ganze Jahr gewährleistet. Aus dem mit groben Geröllen durchsetzten Kulmbacher Konglomerat wird in der Grube Kick der Kaolin mit einer Wasserstrahlkanone (Monitor) ausgespült (vgl. Taf. 4: Foto 2) und die Kaolinsuspension in einem Leitungssystem zur Aufbereitung gepumpt.

Der Abbau erfolgt in der Regel in einem größeren Lagerstättenareal in vertikaler Richtung, wobei sich an der randlichen Abbauwand, je nach Gesteinsausbildung und Standfestigkeit, ein Böschungswinkel von ca. 60°–70° bewahrt hat.

Bewegt sich der Abbau horizontal von einem Grubenfeld in das andere, wird ein Abbau an mehreren Strossen durchgeführt, deren Höhe – je nach maschinellen Möglichkeiten – zwischen ca. 4 und 8 m beträgt.

### Aufbereitung

Die Aufbereitung hat zum Ziel, die in der Roherde enthaltenen Hauptbestandteile Kaolinit, Feldspat und Quarz möglichst rein darzustellen und von Verunreinigungen (z. B. Schwerminerale) zu befreien (Tab. 2). Zur Abtrennung des Kaolins aus der Roherde bedarf es zu Beginn des Aufbereitungsprozesses eines intensiven Auflöse- und Waschverfahrens, indem Wasser zugegeben wird. Durch die relative Feinkörnigkeit des Kaolinit und dessen Blättchenstruktur gegenüber den körnigen Bestandteilen kann dieser länger in Suspension gehalten werden. In einer ersten Stufe (Kettenrührwerk, Siebe, Schwerterwäsche und Feinsandfänge) wird der Kaolin bereits weitgehend von körnigem Feldspat und Quarz sowie Schwermineralen befreit. Eine weitere Reinigungsstufe stellen die Hydrozykloone dar, wobei hier der Trennvorgang auf dem Prinzip der Zentrifuge mit stehenden Wandungen bei rotierender Suspension beruht. In bestimmten Fällen werden auch Zentrifugen eingesetzt. Die Hydrozykloone werden mehrstufig in verschiedenen Ausführungen hintereinander geschaltet. Die ältere Trennungsmethode der Rinnenschlämmung wird kaum mehr angewandt. Parallel zur Trennung in Hydrozykloonen wird auch die Flotation eingesetzt, wodurch vor allem die zu größeren Aggregaten verwachsenen (Geldröllchenstruktur) Kaolinitminerale abgetrennt werden. In großen Becken, sog. Eindikkern (denen Vorratsbehälter mit Rührwerk nachgeschaltet sein können), lässt man anschließend die Kaolinerde absedimentieren und zieht diese dann in bestimmten Zeitabständen vom Beckenboden ab. Diese Vorgänge laufen parallel für verschiedene Qualitäten. Die Feuchte wird dem Kaolinschlamm in Filterpressen und Trocknern (Dreibandtrockner, Mahltrockner), teilweise auch durch Lufttrocknung, ganz oder teilweise entzogen und der Kaolin in versandfähige Form gebracht. Kaoline kommen getrocknet in Platten, getrocknet und gemahlen, plastisch (als Nudeln mit einem Wassergehalt von 12%) oder flüssig (Feststoffgehalt 60–70%) in den Handel. In einem Fall wird auch die Roherde ab Grube als sogenannter Rohkaolin verkauft.

Durch den selektiven Abbau und die unterschiedliche Kombination der o. g. Aufbereitungstechniken können Kaoline mit großer Reinheit (bis 94% Kaolinitgehalt) hergestellt werden.

### Verwendung

Eingesetzt werden Kaoline hauptsächlich in der

- Papierindustrie (feinkörnige, hochwertige Kaoline mit geringer Abrasion und hohem Weißgrad)
- Keramikindustrie (Kaolin mit hoher Plastizität, hoher Trockenbiegefesteit, geringer Brennschwindung und weißer Brennfarbe)
- Glasfaserherstellung (Kaolin mit einem Alkaligehalt < 0,8%, hohem  $Al_2O_3$ -Gehalt und geringem Eisengehalt).

*Tabelle 2: Allgemeine Verfahrenstechnik der Kaolinaufbereitung  
(aus WENINGER 1976)*

Aufbereitungsschritte	Apparate-technik	Produkte
Gewinnung	Löffel-Schaufelrad-Schürfkübel-Schräpper Bagger Monitor	Abraum Grobsande
Auflösen	Auflösebehälter Siebtrommel Schwertermaschine	
Klassierung	→ Sandfang Hydrozyklon Hydroseparatör Hydrozyklonstufen → Zentrifugen	Sieben Mischen Quarz Feldspat Glimmer KAOLIN FÜLLSTOFF Kaolin Quarz Feldspat Glimmer Schwerminerale
Eindickung	Absetzbassin Rund- Längs- Teller- Zentrifugen Düsen-	KAOLIN FÜLLSTOFF COATING CLAY
Sonderbehandlung	Bleichen Delaminierung	
Filtration	Filterpressen Trommelfilter	
Trocknung	Band- Trommel- Etagen- Walzen- Sprüh-trockner Mahltrockner	Nudelform "Slurry" Pulverform

Daneben finden Kaoline Verwendung als

- Kaolinschamotte (hoher  $Al_2O_3$ -Gehalt, ansonsten eher mindere Anforderungen)
- Füllstoffe (feinkörnig, niedriger Eisengehalt)
- Pigmentstoffe (hohe Viskosität, hoher Weißgrad)
- kalzinierte Kaoline (hoher Weißgrad, wenig Eisen)
- Zementkaoline (eher geringe Qualität).

Unternehmen	Grube (Topogr. Kt. 1:25 000, Lage nach Gauß-Krüger- Koordinaten)	Rohförderung 1986	Aufbereitete, absatzfähige Massen	Belegschaft
Amberger Kaolin- werke GmbH 8452 Hirschau	Grube Hirschau TK 25: 6437 Hirschau R: 44 97 00, H: 54 89 20	1 100 000 t	140 000 t Kaolin, 120 000 t Feldspat- konzentrat, 300 000 t Quarzsand und -mehl (zusätzlich 560 000 t Quarzsand auf Halde -- , „Monte Kaolino“)	ca. 650
Gebrüder Dorfner OHG 8452 Hirschau	Grube Hirschau-Scharhof TK 25: 6437 Hirschau R: 44 98 30, H: 54 89 00	500 000 t	80 000 t Kaolin, 17 000 t Feldspat- konzentrat, 250 000 t Quarzsand und -mehl	ca. 300
Eduard Kick GmbH & Co. KG 8454 Schnaittenbach	Grube Schnaittenbach TK 25: 6437 Hirschau R: 44 99 50, H: 54 89 50	620 000 t	120 000 t Kaolin, 500 000 t Quarzsand und -mehl	ca. 400
Freihunger Kaolin- und Feldspatwerk GmbH 8451 Freihung/Opf.	Grube Forsthof bei Tanzfleck TK 25: 6337 Kaltenbrunn R: 44 93 00, H: 55 00 60	22 000 t	2000 t Kaolin, ca. 20 000 t Quarzsande zur Putzherstellung	ca. 8
Keramische Rohstoffe und Massen – Schmelitz – Zweigniederlassung der Hutschenreuther AG 8593 Tischenreuth	Grube Rappauf TK 25: 6139 Falkenberg R: 45 23 60, H: 55 24 31 Grube Schmelitz TK 25: 6140 Tischenreuth R: 45 24 80, H: 55 24 64	60 000 t	15 000 t Kaolin, 30 000 Feldspatsand (Feldspat-Quarz-Gemisch als keramische Masse), 15 000 t Nebenprodukt	50
Theo Weidermann Ton- und Feldspat- gewinnung 8592 Wunsiedel	Grube Curt I R: 45 27 50, H: 55 28 00 Grube Curt II R: 45 27 80, H: 55 28 00 beide TK 25: 6134 Tischenreuth	10 000 t	10 000 t unaufbereitet als Rohkaolin	ohne Angabe
Sand- und Kaolinwerk Neuhaus K. Inzelsberger 8587 Creussen/Ofr.	Grube Neuhaus TK 25: 6135 Creussen R: 44 73 75, H: 55 20 40	30 000 t	3500 t Kaolin, 25 000 t Quarzsand	3

Den oben genannten Firmen sei für die großzügige Überlassung von firmeninternen Daten- und Dokumentationsmaterial gedankt.

## Rekultivierung

Bereits während der Abbauperiode werden die Tagebaue mit nicht verwertbarem Material (überwiegend Abraum) verfüllt und dem ehemaligen Relief angeglichen. Durch Aufbringen von Humus können diese Flächen je nach Geländeausbildung wieder einer landwirtschaftlichen oder forstwirtschaftlichen Nutzung zugeführt werden. Als landschaftliche Ausgleichsmaßnahme wird die natürliche Sukzession (Biotopt) in geeigneten Arealen angestrebt. Verständlicherweise kann das durch die Gewinnung entstandene Massendefizit nicht vollkommen durch Verfüllung ausgeglichen werden, so daß auf den Restflächen oft Seen entstehen. Diese Seen werden überwiegend von Oberflächen- und Niederschlagswasser gespeist, wobei der Grundwasseranteil und die Durchströmung aufgrund der geringen Gesteinsdurchlässigkeit eine untergeordnete Rolle spielen dürften.

## Literatur

- BAUBERGER, W., HAUNSCHILD, H., SCHNEIDER, E. F. & TILLMANN, H. (1960): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6437 Hirschau. – 138 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- DORFNER, E., ECKERT, F., KRÖCK, H.-J. & ZRENNER, F. (1972): Dorfner. – Firmenprospekt Fa. Gebrüder Dorfner OHG: 30 S., Hirschau.
- KÖSTER, H. M. (1974): Ein Beitrag zur Geochemie und Entstehung der Oberpfälzischen Kaolin-Feldspat-Lagerstätten. – Geol. Rdsch., 63: 655–689, Stuttgart.
- SALGER, M. (1958): Mineralogische und sedimentpetrographische Untersuchungen am Kaolinprofil der Bohrung Kick Nr. 9 bei Schnaittenbach/Opf. – Geologica Bavaria, 37: 84 S., München.
- SCHMID, H. & WEINELT, W. (1978): Lagerstätten in Bayern. Erze, Industriemineralen, Salze und Brennstoffe. Mit einer Lagerstättenkarte 1:500 000. – Geologica Bavaria, 77: 160 S., München.
- STEINLEIN, H. (1953): Der Buntsandstein am Westrand der Böhmischem Masse. – Erlanger geol. Abh., 8: 94 S., Erlangen.
- STROBEL, O. (1969): Die Kaolinlagerstätten von Tirschenreuth und ihr geologischer Rahmen im Vergleich zu den Lagerstätten von Weiherhammer. – Diss. Techn. Univ. München: 99 S., München.
- TILLMANN, H. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6337 Kaltenbrunn. – 118 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- VOGT, K. (1971): Zur Mineralogie und Geologie der Kaolinlagerstätte Tanzfleck. – Unveröff. Dipl.-Arb. Techn. Univ. München: 50 S., München.
- WENINGER, M. (1976): Gewinnung und Aufbereitungsverfahren von Kaolin und deren Einfluß auf Eigenschaften des Streichpigmentes. – Wochenbl. Papierfabrikation, 11/12: 433–434, Biberbach a. d. R.

## Feldspat

Von ALBERT DOBNER

Mit 1 Abbildung und 1 Tabelle

Eine an die Pegmatitvorkommen gebundene Feldspatgewinnung ruht derzeit. Die darauf ausgerichteten Betriebe liegen still oder sind gestundet. Die Gewinnung von Feldspat bzw. feldspatreichen Sanden beschränkt sich auf die Abbaue sog. „Pegmatitsande“. Der Ausdruck „Pegmatitsand“ wird in der Industrie für feldspatführende Sande (Arkosen) gebraucht, hat aber genetisch und lagerstättenkundlich nichts mit Pegmatit gemein. Die als Pegmatitsand in Abbau stehenden Lagerstätten gehören dem Mittleren Buntsandstein an, der sich, aufgeteilt in mehrere Areale, aus dem Raum Coburg bis an den Rand der Bodenwöhrer Bucht erstreckt. Die im Kapitel „Kaolin“ (in diesem Bd.) beschriebene Lagerstätte bei Hirschau-Schnaittenbach zählt – wenn man will – auch zu den „Pegmatitsanden“. Da jedoch dort der aus dem Feldspat hervorgegangene Kaolinit im Vordergrund des wirtschaftlichen Interesses steht, sind diese unter Kaolin abgehandelt. In den bei Hirschau gelegenen Gruben (Fa. Dorfner, Fa. Amberger Kaolinwerke) ist die Kaolinisierung nicht vollständig, so daß der Gewinnung und Aufbereitung von Feldspat auch hier eine wichtige Rolle zufällt. Ebenfalls in den Betrieben der Fa. Hutschenreuther südlich Tirschenreuth (s. Kap. Kaolin) ist die Herstellung feldspathaltiger Massen der der Kaolingewinnung an Bedeutung vergleichbar.

## Unternehmen

Die in Tabelle 1 aufgeführten Firmen gewinnen Feldspäte oder feldspathhaltige Massen aus den Pegmatitsanden des Mittleren Buntsandsteins.

## Lagerstätte

Der Mittlere oder Hauptbuntsandstein unterliegt mit zunehmender Entfernung vom Liefergebiet (kristallines Grundgebirge) vor allem zwei, für die Ausbildung der Lagerstätte, wesentlichen Veränderungen. Zum einen ist mit wachsender Entfernung vom Abtragungsraum eine Kornverkleinerung und eine Zunahme der Tonlagen zu beobachten. Zum anderen ist damit eine Verminderung der Kaolinisierung der Feldspäte verbunden. Dazu kommt eine wachsende Mächtigkeit sowohl des gesamten Mittleren Buntsandsteins (Schnaittenbach bis 75 m, Kaltenbrunn 100–125 m, Coburg 200–220 m) als auch der gewinnbaren Lagerstätte von Südost nach Nordwest. Die in Abbau stehenden Schichten liegen bevorzugt im oberen Teil des Hauptbuntsandsteins. Eine Einordnung oder gar Parallelisierung der einzelnen Abbaue mit ganz bestimmten Profilabschnit-

Tabelle 1: Unternehmen und Produktion

Unternehmen	Grube (Topogr. Kt. 1:25 000, Lage nach Gauß-Krüger-Koordinaten)	Förderung 1986	Belegschaft
Gottfried Feldspat GmbH 8451 Thansüß	Grube Thansüß TK 25: 6337 Kaltenbrunn R: 44.95.50 H: 54.96.90	32 000 t/a Feldspatsand	ohne Angabe
Keramische Rohstoffe Bauscher-Mandt Zweigniederlassung der Hutschenreuther AG 8480 Weiden	Grube Rupprechtsreuth (s. Abb. 1) TK 25: 6338 Weiden i. d. Opf. R: 45.05.10 H: 55.05.20	35 000 t/a Feldspatsand	9
Quarzsandwerk J. Hebtanz 8632 Neustadt b. Coburg	Grube Wellmersdorf TK 25: 5632 Neustadt b. Coburg R: 44.37.00 H: 55.74.40	ohne Angabe	ohne Angabe
Quarzsandwerk Weißenbrunn, Bauer & Co. 8641 Weißenbrunn	Grube Thonberg TK 25: 5733 Kronach R: 44.51.60 H: 55.64.10	4 000 t/a Feldspatsand	1 (nur zeitweise)
Dieter Förtsch GmbH & Co. KG Quarzsandwerke Burgstall 8640 Kronach-Dörfles	Grube Burgstall TK 25: 5733 Kronach R: 44.46.60 H: 55.67.70	ohne Angabe	ohne Angabe

ten, die von wissenschaftlichen Bearbeitern (LEITZ 1976) als Sequenzen bezeichnet werden, ist schwierig. Die Gewinnung größerer Lagerstättenmächtigkeiten ist durch technisch-wirtschaftliche Möglichkeiten begrenzt und oft aus Gründen des Grundwasserschutzes eingeschränkt. In der Regel sind die Gruben selten tiefer als 15 m, so daß sie meist nur einen Bruchteil der gewinnbaren Mächtigkeit (z. B. bei Coburg über 80 m) erschließen. Die Lagerstätte baut sich auf aus schräg- und kreuzgeschichteten, meist mürben Sandsteinlagen aller Farbschattierungen von weiß über gelb bis rot. Getrennt werden die Sandlagen von roten bis grünen Feinsedimentlagen (Mächtigkeit meist im Dezimeterbereich), die teils lokal, teils über den ganzen Grubenbereich zu verfolgen sind. Diese Lagen müssen beim Abbau ausgehalten werden und auch kräftig gefärbte Sandsteinpakete werden meist als Abraum beseitigt oder bleiben unverritzt.

### Lagerstätteninhalt

Vergleicht man die im Kapitel über Kaolin (bei Hirschau) beschriebene mineralogische Zusammensetzung in qualitativer Hinsicht mit den Pegmatitsanden des Mittleren Buntsandsteins, so ist kaum ein Unterschied festzustellen. Infolge des geringen Kaolinitierungsgrades verschiebt sich im wesentlichen das Verhältnis Feldspat/Kaolin zu Gunsten des Feldspates und folglich auch der prozentuale Quarzanteil, da bei der Umsetzung von 2,16 t Kalifeldspat nur 1 t Kaolin entstehen kann. Der absolute Quarzgehalt durch Lösungsumsatz ändert sich dabei nur unwesentlich. Die durch die Kaolinitierung ausgelöste Korngrö-

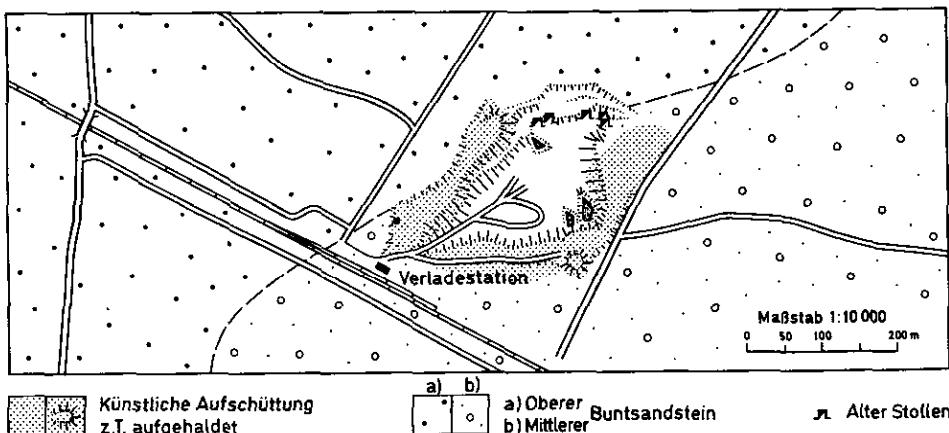


Abb. 1. Die Grube Rupprechtsreuth der Fa. Keramische Rohstoffe Bauscher-Mandt bei Wiesendorf

ßenänderung wird überlagert durch faziell bedingte Korngrößenabnahme von Südosten nach Nordwesten. Da in den einzelnen Gruben unterschiedliche stratigraphische Horizonte angeschnitten werden und dazu selektiv entsprechend der Verwendung abgebaut wird, können aus den vorhandenen Analysen nur in etwa lagerspezifische Korngrößenverteilungen und quantitative mineralogische Zusammensetzungen angegeben werden.

Das hereingewonnene Material besteht überwiegend aus Mittel- und Grobsand (60–70%), ca. 10% Feinsand, ca. 5–15% Schluff und Ton und einem Feinkiesanteil von ca. 10%. Gelegentlich finden sich auch Gerölle >10 mm in der Größenordnung von einigen Prozenten. Hinsichtlich des mineralogischen Aufbaus sind nach vorliegenden Untersuchungen die Lagerstätten im Raum Weiden–Weiherhammer etwas feldspatreicher (Feldspat ca. 25–30%, Quarz ca. 60–65%, Kaolinit ca. 8%, Glimmer ca. 2%) als die Vorkommen bei Kronach–Coburg (Feldspat um 25%, Quarz um 70%, Kaolin und Glimmer 5–8%).

Für die Qualität der aufbereiteten Massen ist der Eisengehalt von entscheidender Bedeutung. Er liegt in den sehr hellen Schichten knapp unter 0,1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , in den gelben Partien bis 0,3%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , so daß bei der gewinnbaren Roherde mit ca. 0,1–0,2%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  gerechnet werden kann. Vor allem die punktuellen Eisenanreicherungen, die als opake Schwerminerale (Ilmenit, Magnetit, Hämatit) vorliegen, sind unerwünscht. Da die Schwerminerale bevorzugt in den Feinsedimentlagen auftreten, müssen diese beim Abbau ausgehalten werden.

## Gewinnung

Entsprechend den Anforderungen der Fertigprodukte wird bei der Hereingewinnung ein selektiver Abbau betrieben. Dies geschah früher in einigen Gruben untertage. Heute ist es möglich, alle Gruben als Tagebau zu betreiben. Dabei erlauben es moderne Methoden, auch alte Untertagegrubenfelder aufzuwältigen. Der selektive Abbau bevorzugt helle und tonlagenfreie Gesteinspartien, da diese aus Erfahrung besonders arm an Eisen bzw. Schwermineralen sind.

Die Förderung aus den ca. 10–25 m tiefen Gruben erfolgt mittels Bagger, Schaufellader und Lkw. In einzelnen Fällen, z. B. zur Bahnverladung, werden auch Transportbänder eingesetzt. In einzelnen Gruben werden die mürben Sandsteine auch gesprengt, weniger weil das Gestein mit einem entsprechenden Gerät (z. B. einem Hydraulikbagger) nicht gelöst werden kann, sondern vielmehr, um die Roherde nicht mit dem Eisenabrieb der Baggerzähne zu verunreinigen. Zum Abräumen von Humus und nicht verwertbarer Überdeckung kommen überwiegend Schubraupen zum Einsatz.

### Aufbereitung

Die Aufbereitung des Rohmaterials ist in den einzelnen Betrieben den Produktionszielen angepaßt. Als Produkte werden Feldspat-Quarz-Gemische mit Konzentrationen von ca. 28% bis 94% Feldspat hergestellt. Die folgende Beschreibung bezieht sich nicht nur auf die „Pegmatitsande“, wie sie oben in diesem Kapitel beschrieben sind, sondern sie umfaßt auch die bei der Kaolinaufbereitung anfallenden Feldspat-Quarz-Massen, die einen nicht unerheblichen Teil der Produktion der einzelnen Werke darstellen.

Für die einzelnen Produkte bzw. Produktgruppen (Feldspatsande und Feldspatkonzentrate) bedarf es jeweils einer Feldspatanreicherung gegenüber der Roherde. Dabei macht man sich in erster Linie die unterschiedliche Verteilung der Minerale auf die einzelnen Korngrößenfraktionen zunutze (s. dazu Kap. Kaolin: Lagerstätteninhalt), so daß durch einfache Korttrennung nach Größe bereits eine Feldspatanreicherung eintritt. Dies kann geschehen unter Zugabe von Wasser mittels Naßsiebung oder im Aufstromklassierer. Im getrockneten Zustand wird das Material durch Windsichtung getrennt. Bei genügend Feldspat in der Roherde reicht bereits eine Absiebung im trockenen oder bergfeuchten Zustand der Fraktion >10 mm, um den Feldspatgehalt auf ca. 30% anzuheben. Ein Teil der gewonnenen Massen wird getrocknet und eisenfrei mit Flintsteinen gemahlen. Durch den Mahlvorgang erreicht man – bedingt durch die geringere Härte und bessere Spaltbarkeit – bei Feldspat eine weit stärkere Verschiebung zu kleineren Körnern als bei Quarz. Dieses Auseinanderrücken der beiden Kornverteilungen läßt bei einer Fraktionierung (z. B. Siebung) eine Feldspatanreicherung bis ca. 45% zu. Für eine weitergehende Feldspatkonzentration (bis 94%) nützt man die spezifischen Eigenschaften der Mineraloberfläche. So werden Schwerminerale mittels Flotation oder Starkfeldmagnetscheidung entfernt. Die Trennung von Feldspat und Quarz durch elektrostatische Scheidung über eine Trommel beruht ebenfalls auf Oberflächeneffekten der Minerale. Für diesen Vorgang werden die Mineraloberflächen vorher durch Säuren aktiviert.

### Verwendung und Produktion

Verwendung finden feldspathhaltige und feldspatreiche Massen zur Herstellung verschiedener Glassorten (Flach-, Hohl-, Zieh- und Preßglas). Ein weiterer Einsatzbereich ist die Baukeramik und die Porzellanindustrie (Geschirr-, Elektro-, Weich- und Sanitärporzellan). Daneben spielt die Produktion von Fritten, Glasuren, Email, Schleifscheiben und Elektroden eine wichtige Rolle.

Insgesamt betrug die Produktion von Feldspatmassen 1986 in Bayern 285 000 t. Davon entfallen ca. 53% auf Feldspatsande mit Feldspatgehalten von 28% – 50% und ca. 47% auf Feldspatkonzentrate mit Feldspatgehalten von 50% – 94% (s. dazu Kap. Kaolin).

### Literatur

- EGGERT, P., HÜBENER, J. A., PRIEM, J., STEIN, V., VOSSEN, K. & WETTIG, E. (1986): Steine und Erden in der Bundesrepublik Deutschland – Lagerstätten, Produktion und Verbrauch. – Geol. Jb., D 82: 3–879, Hannover.
- FÜRST, M. (1956): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6135 Creussen. 52 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- LEITZ, F. (1976): Lithostratigraphie des Zechsteins und Buntsandsteins bei Coburg und Kronach (Nordost-Bayern). – Diss. Univ. Bochum, 185 S., Bochum.
- MANDT, P. (1979): Geologie, Vorkommen, Abbau und Aufbereitung der arcosen Feldspatsande im Triasbecken um Weiherhammer – Ber. Dt. Keram. Ges., 56(8): 213–215, Bonn.
- SCHMID, H. & WEINELT, W. (1978): Lagerstätten in Bayern. Erze, Industriemineralien, Salze und Brennstoffe. – Geologica Bavarica, 77: 160 S., München.
- SINGER, E. (1979): Nordbayerische Porzellansande – Vorkommen, Veredelung, Anwendung. – Ber. Dt. Keram. Ges., 56 (8): 210–212, Bonn.
- STEINLEIN, H. (1953): Der Buntsandstein am Westrand der Böhmischem Masse. – Erlanger geol. Abh., 8: 94 S., Erlangen.
- TILLMANN, H. (1958): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6337 Kaltenbrunn. – 118 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden. – Geologica Bavarica, 86: 563 S., München.



## Spezialton

Von ALBERT DOBNER

Mit 4 Abbildungen und 5 Tabellen

Die unter dem Begriff Spezialton zusammengefaßten Lagerstätten in Bayern entstanden in zwei zeitlich weit auseinanderliegenden Sedimentationsphasen. Die älteren Tone wurden im obersten Keuper (Rhät) abgelagert, die jüngere Bildungsphase erstreckt sich über einen größeren Zeitraum des Tertiärs (Jungtertiär). Beiden Tonen gemeinsam ist das nicht marine Bildungsmilieu, der durch spezielle Verwitterungsbedingungen entstandene hohe Kaolinitanteil und die Karbonatfreiheit. Die beiden letztgenannten Kriterien bedingen auch die Eigenschaften, die hauptsächlich für die Zuordnung zu den Spezialtonen sprechen (z. B. hohe Feuerfestigkeit).

### Tone des Rhät..

Bauwürdige Tone des Rhät finden sich am Rand der Nördlichen Frankenalb. Zwischen dem Feuerletten als Liegendem und den marinen Liasschichten als Hangendem liegen die teils sandig, teils tonig ausgebildeten Schichten des Rhäts, oft auch als Rhät-Lias-Übergangsschichten bezeichnet. Die stark wechselnde Mächtigkeit zwischen toniger und sandiger Fazies lässt sich in der Regel nur durch Aufschlüsse oder Bodensondierungen erkunden. Die geologische Erfahrung zeigt, daß sich die Mächtigkeit der Tonschichten meist zwischen 2 und 4 m bewegt. Mächtigkeiten von 10–20 m sind eine Ausnahme.

Der schiefrig bis bröckelig brechende Ton ist durch organische Beimengungen meist dunkelgrau bis schwarz gefärbt. Es kommen aber auch helle und kräftig rot gefärbte Varietäten vor. Für den Einsatz dieser Tone in keramischen Massen ist der Anteil der Komponente  $< 2\mu$ , der bis zu 70% erreichen kann, sowie die mineralogische Zusammensetzung von entscheidender Bedeutung. Kaolinit mit ca. 55–65% und Quarz mit 20–30% sind die Hauptbestandteile des Tons. Nebengemengteile sind Muskowit, Illit und in einzelnen Lagen Montmorillonit und Eisenminerale. Karbonate fehlen. Der Anteil an Alkalien, die das Schmelz- und Sinterverhalten entscheidend beeinflussen, liegt nur im Bereich von 1%. Stärkeren Schwankungen unterliegt der Eisengehalt. Im Normalfall können 1,5–4,5%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nachgewiesen werden. Gehalte über 10% sind die Ausnahme.

Durch die sehr starken Mächtigkeitsschwankungen und innige Verzahnung mit sandigen Schichten ist die wirtschaftliche Gewinnung der Tone stark eingeschränkt. Derzeit unterstehen 3 Tagebaue dem Bergrecht, in denen der Abbau auf diese Tone umgeht (Tab. 1). 2 Gruben werden durch die Fa. Hofmann im Auftrag der Annawerke Keramische Betriebe GmbH, 8633 Rödental, betrieben.

Eine dritte Grube betreibt die Fa. Adolf Gottfried Tonwerke GmbH, 8621 Großheirath. Beim Abbau, der auf mehreren Sohlen – zum Teil selektiv nach Qualitäten – durchgeführt wird, kommen Bagger und Lkw zum Einsatz.

Eingesetzt werden Rhättone in Steingut- und Steinzeugmassen für Wandplatten, Ofenkacheln, Sanitärtikel, Fußboden- und Spaltplatten, Verblendsteine, Schleifscheiben, Kapseln und Steinzeugrohre. Dabei sind vor allem die Gehalte an  $Al_2O_3$  und  $Fe_2O_3$  für die verschiedenen Produkte maßgebend. (Kapselton:  $Al_2O_3$ : 24–30%;  $Fe_2O_3$ : bis ca. 3%; Röhrenton:  $Al_2O_3$ : ca. 28%; Plattenton:  $Al_2O_3$ : ca. 29%; Magerton:  $Al_2O_3$ : 29–31%,  $Fe_2O_3$ : bis ca. 8%; Steinzeugton:  $Al_2O_3$ : 32–40%,  $Fe_2O_3$ : 2%; Schamotteton:  $Al_2O_3$ : 34–42%,  $Fe_2O_3$ : 1,5–2,5%).

*Tabelle 1: Unternehmen und Abbaue*

Unternehmen	Grube, Topogr. Karte 1:25 000, Lage nach Gauß-Krüger-Koordinaten
Adolf Gottfried Tonwerke GmbH 8621 Großheirath	Grube Großheirath TK 25: 5831 Seßlach R: 44 26 40, H: 55 61 00
Annawerk Keramische Betriebe 8633 Rödental bei Coburg Betrieb durch Fa. F. Hofmann Fuhrunternehmen 8634 Rodach	Grube Muggenbach TK 25: 5730 Heldburg R: 44 13 90, H: 55 64 90 Grube Sonnefeld TK 25: 5732 Sonnefeld R: 44 37 80, H: 55 66 60

### Tertiäre Tone des Naabsystems

Während des Jungtertiärs kam es durch tektonische Bewegungen am Rand des Moldanubischen Grundgebirges im Bayerischen Wald und südlichen Oberpfälzer Wald einerseits zur Heraushebung des Grundgebirges, andererseits zur Absenkung von Schollen paläozoischer und mesozoischer Sedimente im Vorland. Dadurch bildete sich am Rand des Grundgebirges ein tiefeingeschnittenes weitverzweigtes Rinnensystem (Urnaab-System), das sich heute zwischen Regensburg und dem Raum Wernberg-Pfreimd erstreckt (Abb. 1) und die wirtschaftlich bedeutsamsten Tonlagerstätten Bayerns beinhaltet (Tab. 2). Die tertiären Sedimente werden untergliedert in Liegendtertiär, Braunkohlentertiär und Hangendtertiär. Während das Liegend- und Hangendtertiär nur örtlich bauwürdige Lagerstätten aufweist, liegen im Braunkohlentertiär reiche Tonvorkommen.

Neben geringmächtigen Tonhorizonten, die überall als Zwischenlagen der Braunkohleflöze vorkommen können, sind die Tonlagen bevorzugt im sog. Hauptzwischenmittel (das sind die Schichten zwischen der Ober- und Unterflözgruppe) zu beobachten. Mächtigere Tonpakete sind durch dünne Sandlagen und dünne Braunkohlenflöze gegliedert oder die einzelnen Lagen mit Mächtigkeiten von 0,5–2 m unterscheiden sich in Farbe und Kornzusammensetzung.

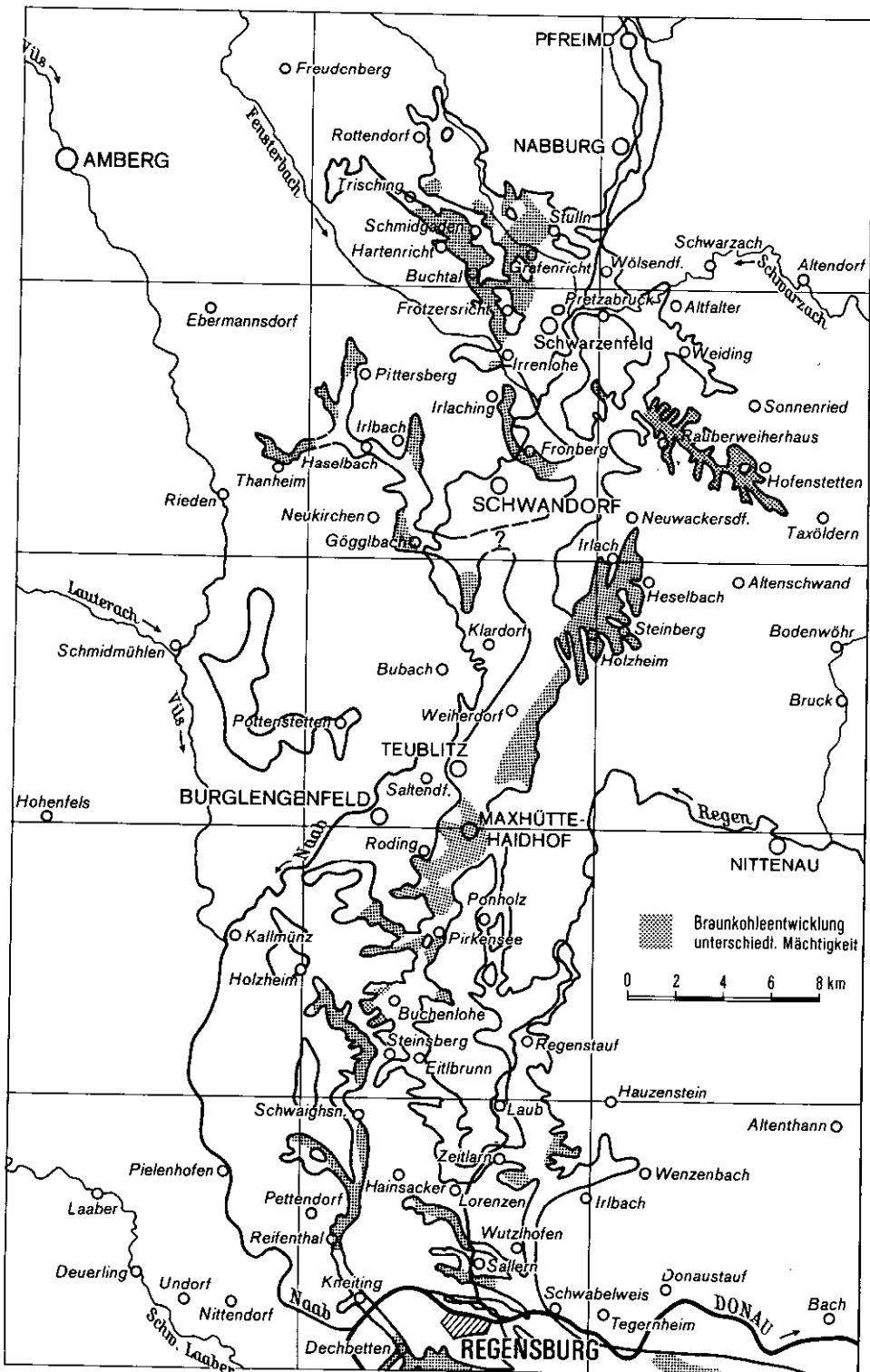


Abb.1. Das tertiäre Naabsystem zwischen Regensburg und Pfreimd.

Die überwiegend grauen, graubraunen, grüngrauen und graublauen Tone enthalten lagenweise sehr feinkörnige Tone (bis 98% < 2  $\mu$ ).

Das überlagernde Hangendtertiär enthält Tonlagen hauptsächlich in den oberen, flächenhaft weit ausgreifenden Schichten. Ihre Farben sind blaugrau bis braungrau, häufig auch bunt bis gelb, und die Korngröße erreicht mit Anteilen bis ca. 70% < 2  $\mu$  nicht die Feinheit der Tone des Braunkohlentertiärs.

Entscheidend für die Verwendbarkeit in keramischen Massen ist die mineralogische Zusammensetzung. Ein Charakteristikum dieser Tertiärtone ist der hohe Gehalt an kaolinitischen Mineralen (Fireclay und Kaolinit), Illit, Muskowit, Wechselschichtminerale (Mixed-layer Minerale), Montmorillonit und Feldspat treten demgegenüber zurück. Quarz, der in seiner Hauptmasse in der Korngröße > 20  $\mu$  vorliegt, ist in unterschiedlicher Menge beteiligt. Als Anhaltspunkt ergibt sich daraus, daß mit Abnahme der Korngröße der Quarzgehalt sinkt, der Anteil der Tonminerale, insbesondere der kaolinitischen Minerale, steigt und damit der  $Al_2O_3$ -Gehalt und die Feuerfestigkeit zunehmen. In einzelnen Tonlagen kann der  $Al_2O_3$ -Gehalt (geglüht) bis über 44% ansteigen. Die als Flußmittel wirkenden Alkalien sind vom Feldspat- und Glimmeranteil abhängig und schwanken für  $K_2O$  zwischen 0,4–2,0%; teilweise werden auch etwas höhere Werte erreicht.  $Na_2O$  liegt nur in Spuren (<1%) vor. Die Gehalte an  $Fe_2O_3$  liegen in den Tonen des Braunkohlentertiärs bei 1–3%; in den Tonen des Hangendtertiärs liegen sie in der Regel etwas höher und können häufig die 4%-Marke, vereinzelt auch 8%, übersteigen. Karbonat kann nicht oder nur in geringen Spuren nachgewiesen werden. Erst südlich Regensburg, wo sich die Sedimente des Urnaabsystems mit denen des Molassetroges verzähnen, können die Karbonate einen wesentlichen Anteil stellen.

In den tiefen Tagebauen werden örtlich bis etwa 10 verschiedene Tonsorten unterschieden (Abb. 2). Tonerdreiches Material, das zudem arm ist an Eisen und Alkalien, wird zur Herstellung von Steingut (z. B. Fliesen für den Innenausbau) verwendet. Durch die hohe Feuerfestigkeit sintert das Material auch bei erhöhter Brenntemperatur wenig und ergibt einen porösen Scherben. Tone mit 40–42%  $Al_2O_3$  werden zu hochfeuerfester Schamotte gebrannt. Aus Tonen mit  $Al_2O_3$ -Gehalten von 37–40% und Alkaligehalten von 1–2% lassen sich Mahlschamotte für feuerfeste Massen herstellen. Sind in diesen Tonen feine Kohlepartikel eingeschlossen und diese gleichmäßig verteilt, entstehen beim Brennen (1250–1300 °C) besonders viele Poren und das Fertigprodukt wird als Leichtschamotte (ca. 650 g/l Schüttgewicht) bezeichnet, die nur sehr geringe Wärmeleitzahlen aufweist. Steinzeugtöne mit einem  $Al_2O_3$ -Gehalt von ca. 32–35% und etwas erhöhtem Flußmittelgehalt ergeben einen dichten Scherben (z. B. Spaltplatten, Steinzeugrohre für Entwässerungsleitungen).

### Tertiäre Tone in Niederbayern

Die tertiären Tone Niederbayerns, deren Abbau nur zum Teil dem Bergrecht untersteht, gehören zwei unterschiedlichen Bildungsphasen des Jungtertiärs an. Die älteren von ihnen sind etwa zeitgleich mit denen des Naabsystems entstanden und liegen in Randbuchten des Bayerischen Waldes zum Donautal.

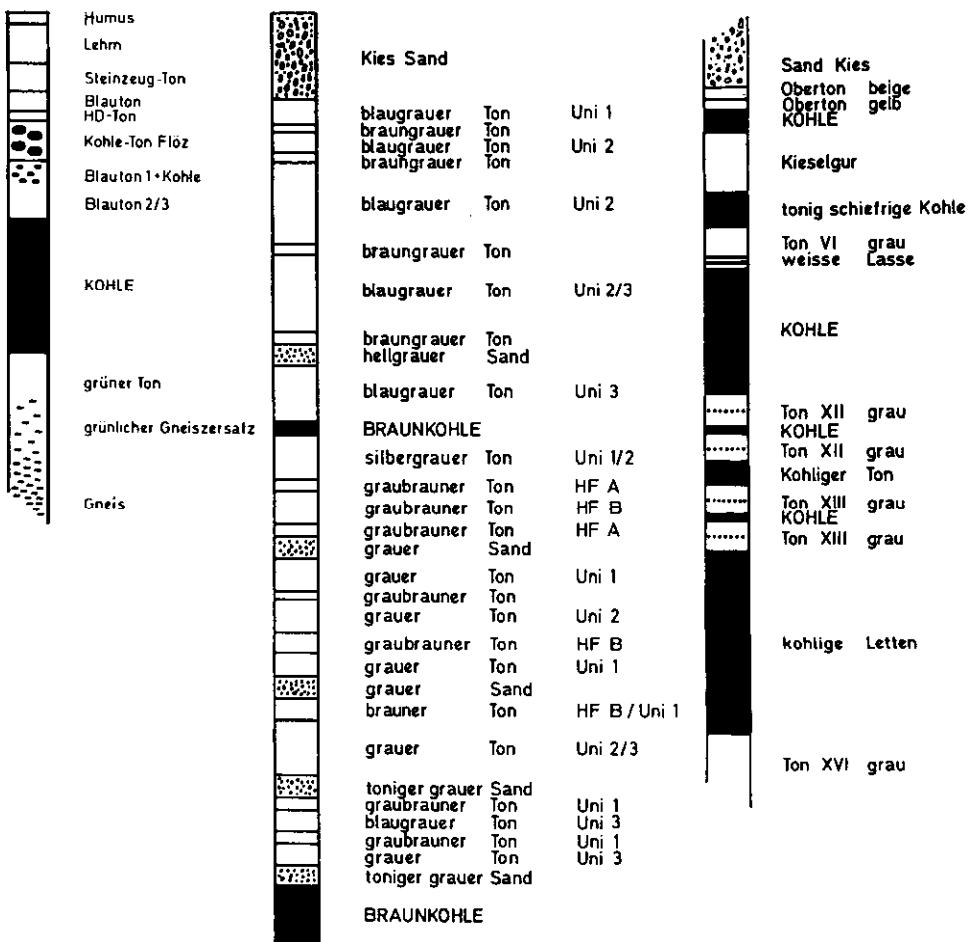


Abb. 2. Profile der Gruben Hartenricht (links), Klardorf (mitte) und Rohrhof (rechts). – Aus KROMER (1978: Abb. 20, 23, 26).

Die Bucht bei Hengersberg-Schwanenkirchen erstreckt sich über 15 km Länge und ist die größte ihrer Art. Die jüngeren Bildungen liegen als vereinzelte Vorkommen zwischen den obersten Schichten des mit alpinem Material gefüllten Molassetroges. Diese Tone sind der Oberen Süßwassermolasse zuzuordnen und wurden ebenso wie die in der Hengersberger Bucht aus Abtragungsmaterial des bayerisch-böhmisichen Grundgebirges gebildet.

Der Abbau der Tonlagerstätten in der Hengersberger Bucht wird bevorzugt von Firmen der Ziegelindustrie bzw. für diesen Industriezweig betrieben und konzentriert sich derzeit um den Ort Dingstetten (Tab. 3):

Entsprechend der Gliederung des Naabsystems lässt sich hier sehr häufig eine Dreiteilung in Liegend-, Braunkohlen- und Hangendtertiär durchführen. Die Mächtigkeit dieser Schichten schwankt sehr stark und ist nicht gleichmäßig auf die einzelnen Horizonte verteilt. Sie steigt örtlich bis über 100 m an, wobei

Tabelle 2: Unternehmen und Abbaue

Unternehmen	Grube, Topogr. Karte 1:25 000, Lage nach Gauß-Krüger-Koordinaten
Buchtal GmbH 8472 Schwarzenfeld	Grube Weiherdorf TK: 6738 Burglengenfeld R: 45 08 70, H: 54 55 50
	Grube Frotzersricht TK 25: 6638 Schwandorf R: 45 08 60, H: 54 73 70
	Grube Hartenricht TK 25: 6538 Schmidgaden R: 45 06 10, H: 54 75 20
Didier Werke AG 8411 Teublitz	Grube Teublitz TK 25: 6738 Burglengenfeld R: 45 06 90, H: 54 52 40
Ergo Bergbau GmbH 8460 Schwandorf	Grube Schwandorf TK 25: 6638 Schwandorf R: 45 09 30, H: 54 63 90
Oberpfälzische Schamotte- und Tonwerke GmbH 8411 Ponholz	Grube Rohrhof TK: 6838 Regenstauf R: 45 06 20, H: 54 50 40
	Grube Auhofweiher TK 25: 6738 Burglengenfeld R: 45 09 40, H: 54 58 20
M. Ruhland 8460 Schwandorf	Grube Klardorf TK 25: 6738 Burglengenfeld R: 45 18 80, H: 54 59 40
A. Seiler 8411 Zeitlarn	Grube Pentlhof TK: 6938 Regensburg R: 45 09 60, H: 54 37 20
Schamotte- und Klinkerwerk Hans Bauer GmbH & Co. KG 8472 Schwarzenfeld	Grube Schwarzenfeld TK 25: 65 38 Schmidgaden R: 45 10 80, H: 54 76 75

das Braunkohlentertiär allein bis 40 m einnehmen kann. Während das Liegend- und Hangendtertiär in größerer Ausbildung vorliegt und vorwiegend aus Sanden, tonigen Sanden und sandigen Tonen unterschiedlicher Farben aufgebaut ist und nur untergeordnet Tone enthält, führt das Braunkohlentertiär häufig graue, graublaue und grüngraue, z. T. kohlige Tone. Abbauwürdige Tonlagen trifft man demnach am ehesten im Braunkohlentertiär, obwohl auch hier Kohlezwischenlagen und ein zunehmender Sandgehalt in den Rand- und Endbereichen der Becken die Lagerstättenqualität mindern können. Das Liegend- und Hangendtertiär ist als Lagerstättenträger für Tone von untergeordneter Bedeutung.

Die mineralogische Zusammensetzung der Tone ist geprägt von kaolinitischen Mineralen, die zusammen mit Muskowit und Illit ca. 95% der Tonminerale stellen. In feinkörnigen Tonen (Korngroße  $< 2\mu$  = 60–80%) ist Quarz bis

zu 20% beteiligt, bei gröberkörnigen ( $< 2\mu$  unter 60%) wird die 20%-Marke überschritten. Quarzanteile von weniger als 5% sind als Ausnahme zu sehen. Bemerkenswert ist – verglichen mit den Naabtaltonen – der relativ hohe  $Fe_2O_3$ -Gehalt mit ca. 4–8%, der vereinzelt auch auf über 10% ansteigt. Dazu kommen ein  $K_2O$ -Gehalt von 0,8–3,4% und ein  $Na_2O$ -Gehalt um 0,2%, die beim Brennvorgang die frühzeitige Verdichtung und Glasphasenbildung fördern, wodurch die Tone zur Reduktionskernbildung neigen. Die Tonerdegehalte bewegen sich in der Regel zwischen 25% und 35%; solche bis 40% gelten als Ausnahme.

Der Lagerstättenbereich der Hengersberger Bucht bildet eine stark gegliederte Mulde mit mehreren Randbecken und in der Mitte aufragenden Gneisrücken. Durch die nicht selten mächtige Überlagerung mit Hangendtertiär, Lösslehm und Hangschutt sind die Lagerstätten oft nur schwer zugänglich. Häufig ist die Anlage einer Grube mit wenig Abraum nur an Hängen möglich. Dies wiederum birgt die Gefahr von Hangabrissen und Rutschungen, insbesondere wenn wasserführende Sandschichten angeschnitten werden. Kohlelagen und einzelne Kohleeinschlüsse behindern teilweise den Abbau bzw. beschränken die Einsatzmöglichkeit der Tone auf die Herstellung bestimmter Produkte.

Die Lagerstätten karbonatfreier Tone in der Oberen Süßwassermolasse sind an die sogenannte Moldanubische Serie gebunden, die in Verzahnung mit der Hangendserie als jüngste tertiäre Sedimentlage die älteren Molasseablagerungen überdeckt. Im Süden tauchen diese Schichten an der Linie Simbach–Dorfen unter die Terrassenschotter des Inns bzw. den Altmoränengürtel. Nach Norden und Osten reichen diese Serien mit ihren Ausläufern bis an die Terrassen der Donau und das Gebiet um Pfarrkirchen (Tab. 3).

Nach heutiger Kenntnis kann man davon ausgehen, daß diese Schichten im Gebiet zwischen Isar und Landau–Simbach–Dorf–Moosburg noch größtenteils flächenhaft verbreitet sind. In den Randgebieten und nördlich der Isar sind sie dagegen auf die Höhenzüge zwischen den Tälern der Isar, Kleinen Laaber, Großen Laaber und Abens beschränkt. Wie weit der Einfluß der Moldanubischen Serie nach Westen reicht, ist noch nicht genau bekannt. Die Ausbildung von bauwürdigen Tonvorkommen dürfte aber auf den Bereich östlich der Linie Moosburg–Mainburg begrenzt sein.

Obwohl die Moldanubische Serie weitverbreitet ist, sind die Tone darin nicht flächenhaft, sondern nur linsig ausgebildet und daher nur selten abbauwürdig. Ihre Mächtigkeit reicht von wenigen Dezimetern bis maximal wenigen Metern. Entsprechend dem Ausgangsmaterial und den Verwitterungsbedingungen herrschen in den Tonen die Minerale der Kaolinitgruppe vor. Glimmer, Illit, Montmorillonit und Mixed-layer Minerale treten demgegenüber zurück. Quarz und Feldspat (meist Kalifeldspat) sind vornehmlich in der Schluff- und Sandfraktion vertreten, so daß ihre Anteile mit ihrer Kornvergrößerung zunehmen. Die chemischen Analysen liefern folgende Schwankungsbreite (geglüht, Gew.-%):  $SiO_2$ : 50–68%;  $Al_2O_3$ : 20–30%;  $Fe_2O_3$ : 2–5% (max. 11,7%);  $CaO$ : 0,5–1,2%;  $MgO$ : 0,5–1,2%;  $Na_2O + K_2O$ : 1,5–2,5%.

Dabei ist davon auszugehen, daß die als Ziegelzusatz verwendeten Tone in ihrem  $Al_2O_3$ -Gehalt etwa zwischen 20 und 25% und in ihrem  $SiO_2$ - und Eisengehalt im oberen Bereich der genannten Werte liegen.

Tabelle 3: Unternehmen und Abbaue

Unternehmen	Grube, Topogr. Karte 1:25 000, Lage nach Gauß-Krüger-Koordinaten
Kies- und Betonwerk H. Wolf 8440 Straubing	Grube Dingstetten TK 25: 7244 Osterhofen R: 45 83 60, H: 54 02 30
	Grube Lohholz TK 25: 7245 Schöllnach R: 45 86 90, H: 54 00 60
K. Zacher 8355 Hengersberg	Grube Dingstetten TK 25: 7244 Osterhofen R: 45 83 20, H: 54 01 60
M. Venus 8445 Schwarzach	Grube Dingstetten TK 25: 7244 Osterhofen R: 45 83 20, H: 54 02 30
Roama Tonbergbau R. Roithmeier 8311 Großbettendorf	Grube Dingstetten TK 25: 7244 Osterhofen R: 45 83 20, H: 54 02 00
Josef Meindl oHG Dachziegelwerk 8250 Dorfen	Grube am Kröning TK 25: 7440 Aham R: 45 27 30, H: 53 78 00
Neuhaus & Giebisch 8300 Landshut	Grube Hausmanning TK 25: 7542 Eggenthal R: 51 58 80, H: 53 70 90

Die als Keramikton bezeichneten Massen erreichen einen höheren  $Al_2O_3$ -Gehalt und sind bei einem  $Fe_2O_3$ -Anteil von 2–3% hellbrennend. Als Beispiel bester Qualität sei hier die chem. Analyse eines sog. KG-Tones angegeben:  $SiO_2$ : 56,2%;  $Al_2O_3$ : 35,3%;  $TiO_2$ : 1,5%;  $Fe_2O_3$ : 3,8%;  $CaO$ : 0,4%;  $MgO$ : 0,7%;  $K_2O$ : 1,0%;  $Na_2O$ : 0,7% (geglüht). Der Tonanteil liegt in diesem Fall bei 95,8% und der Anteil der Korngröße > 20  $\mu$  bei nur 1%.

Aufgrund ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung sind auch die technischen Eigenschaften verschieden: Generell zeichnet sich der Ton durch hohe Plastizität, Bindefähigkeit und Trockenbiegefestigkeit von teils über 60 kp/cm<sup>2</sup> aus. Hervorzuheben ist auch das sehr günstige Sinterverhalten der Keramiktone. So hatten z. B. Tone mit Gehalten von 26,0%  $Al_2O_3$ , 4,0%  $Fe_2O_3$  und 0,7%  $Na_2O + K_2O$  einen Sinterpunkt zwischen 1160° und 1200° C, Tone mit 26,5%  $Al_2O_3$ , 3,15%  $Fe_2O_3$  und 1,7%  $Na_2O + K_2O$  (jeweils ungeglüht) einen Sinterpunkt zwischen 1100° und 1150° C. Auf der negativen Seite ist zu erwähnen, daß öfter kleine, im Millimeterbereich liegende Kalkkonkretionen in die Tone eingeschlossen sind und damit die Qualität vermindern.

### Tertiäre Tone der nördlichen Oberpfalz und Oberfrankens

Die Lagerstätten tertiärer Tone in Oberfranken und in der nördlichen Oberpfalz sind an zwei langgestreckte tertiäre Senkungsgebiete gebunden, die sich

vom Egerer Becken zum Südrand des Fichtelgebirges ziehen. Die nördliche Senkungszone folgt dem Tal der Röslau und Kösseine von Arzberg über Marktredwitz und Waldershof bis Pullenreuth mit einer Abzweigung nach Wunsiedel. Das südliche Senkungsgebiet folgt dem Wondrebthal und verzweigt sich nach Westen bis in den Raum um Schönhaid, nach Nordosten bis nach Waldsassen. Diese Becken sind gefüllt mit Süßwasserablagerungen. Neben Kiesen und Sanden treten Tonsande und Tone mit Braunkohle auf. Braunkohle, auf die früher an verschiedenen Stellen gebaut wurde (Philipszeche bei Pilgramsreuth, Zeche Nickel bei Waldershof, Eduardzeche bei Seußlen, Caroluszeche bei Hohenberg), wird heute als beibrechendes Gut bei Schirnding (ehemalige Zeche Hindenburg) zusammen mit Tonen gewonnen (Tab. 4, Abb. 3). Zur Porosierung des keramischen Scherbens wird Kohle mit etwa 6–8% den Ziegelrohstoffen zugesetzt.

Während das Verbreitungsgebiet der tertiären Ablagerungen größere Areale umfaßt, sind die abbaufähigen Tonlagerstätten meist sehr begrenzt, da sie durch raschen horizontalen Fazieswechsel in stark sandige Sedimente übergehen können. Schuttdecken, die oft einen großen Anteil an Basaltbrocken enthalten, haben zwar die Tonvorkommen vor Erosion bewahrt, sind teilweise aber so mächtig, daß ein wirtschaftlicher Abbau nicht mehr möglich ist. Die Lagerstättenmächtigkeiten erreichen bis über 30 m, wobei die Bauwürdigkeit im Liegenden durch hohen Sandanteil oder Sandschichten beeinträchtigt wird. Die Verteilung von eisenreichen (roten) und eisenarmen (weißgrauen) Bereichen ist unterschiedlich; sie tritt lagenweise, aber auch in fleckiger Anordnung auf. Die Gesteine sind gegen das Hangende häufig ausgebleicht, während die tieferliegenden Schichten durch Eisenausfällungen rot gefärbt sind.

Die Tone sind überwiegend von weißer bis grauer Farbe, daneben finden sich auch rote und rotviolette Varietäten. Tonschichten von technisch gewinnbarer Mächtigkeit und Feinanteilen (< 2  $\mu$ ) über 60% sind nur vereinzelt anzutreffen. In der Regel besitzen die Tone einen hohen Sandanteil oder zeigen eine enge Wechsellagerung mit Sanden und sind dadurch relativ schlecht sortiert. Die mineralogische Zusammensetzung ist gekennzeichnet durch einen Kaolinitgehalt von ca. 35% (20–60%), einen Illit-Muskowitanteil von knapp 30% (10–45%) und einen Quarzanteil von ca. 30% (15–45%), der sich mit steigendem Sandanteil zu Lasten der Tonminerale vergrößert. Kaolinitische Tone ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  bis 41%), wie sie z. B. in der Grube Kreuzweiher vorkommen, werden als „Kaolintone“ oder „Oberpfälzer Blautone“ bezeichnet.

### Abbautechnik in den Tontagebauen

Mit Ausnahme des Tonbergbaus in Klingenberg a. Main werden alle Gruben im Tagebau betrieben. Die bauwürdigen Tone stehen meist unter geringer Abraumüberdeckung an und wechseltlagern stark mit Sanden, im Bereich tertiärer Bildungen auch mit Braunkohlen. Der Abbau wird infolge unterschiedlicher Tonqualitäten selektiv durchgeführt. In tieferen Gruben (bis zu 40 m) wird der Abbau in mehreren Sohlen vorangetrieben, deren Strossenhöhe je nach maschinellem Einsatz um einige Meter schwanken kann. Die ursprüngliche Gewinnung mittels Druckluftspaten und Verladung auf Kipploren wurde durch lei-

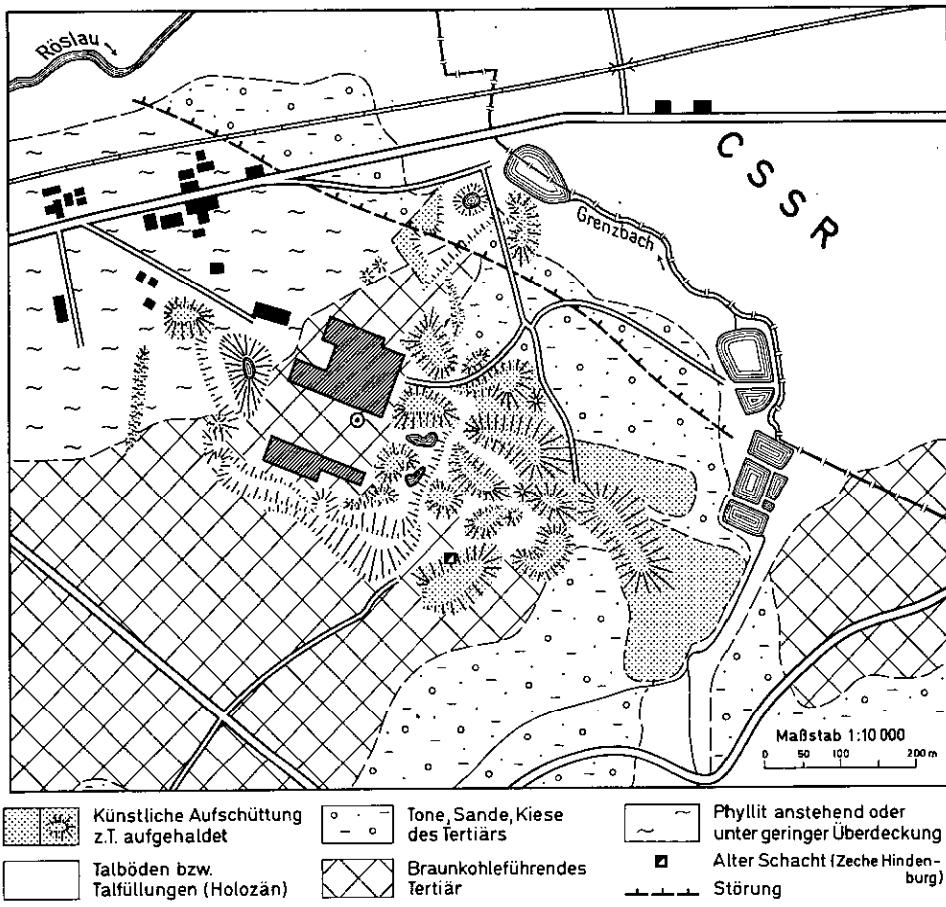


Abb. 3. Die Grube der Fa. Ziegel- und Tonwerk Schirnding GmbH bei Schirnding

stungsfähige Hydraulikbagger, Schaufellader, Muldenkipper und Lkw oder Bandstraßen und Absetzer abgelöst. Die Grubenböschungen können bei trockenem Material während des Abbaus bei  $70^\circ$  bis  $80^\circ$  gehalten werden. Führen die Sandzwischenlagen Wasser, müssen die Grubenböschungen dem natürlichen Böschungswinkel (bei Ton ca.  $20^\circ$ ) angeglichen werden, um Rutschungen und Hangabrisse zu vermeiden. Von Fall zu Fall werden dabei Winkel zwischen  $30^\circ$  und  $45^\circ$  vorgeschrieben.

### Tertiäre Tone bei Klingenberg

Die Stadt Klingenberg betreibt ca. 1,5 km östlich der Stadt ein Tonbergwerk, dessen Geschichte mehrere Jahrhunderte zurückreicht.

*Tabelle 5: Unternehmen und Abbaue*

Unternehmen

Grube, Topogr. Karte 1:25 000,  
Lage nach Gauß-Krüger-Koordinaten

Tonwerk der Stadt  
Klingenberg a. M.  
8763 Klingenberg

Tonbergbau im Rauschengrund  
TK 25: 6221 Miltenberg  
R: 35 14 70, H: 55 16 50

Tabelle 4: Unternehmen und Abbaue

Unternehmen	Grube, Topogr. Karte 1:25 000, Lage nach Gauß-Krüger-Koordinaten
Tonwarenfabrik Wiesau Zweigniederlassung der Hutschenreuther AG 8591 Wiesau	Grube Schönfeld TK: 6039 Mitterteich R: 45 14 50, H: 55 32 05
Ziegel- und Tonwerk Schirnding GmbH 8591 Schirnding	Grube Schirnding TK 25: 5939 Waldsassen R: 45 18 10, H: 55 49 60
Arge Waldsassen Klinkerfabrik Merkl AG und Wilhelm Jahreiß Ziegelwerk KG 8590 Marktredwitz	Grube Seedorf TK 25: 5939 Waldsassen R: 45 17 40, H: 55 45 70
Buchtal GmbH 8472 Schwarzenfeld	Grube Mitterteich TK 25: 6039 Mitterteich R: 45 15 40, H: 55 32 30
Th. Weidermann Ton- und Feldspatgewinnung 8592 Wunsiedel	Grube Kreuzweiher TK 25: 6038 Waldershof R: 45 02 90, H: 55 36 10
Waldsassener Klinkerfabrik Merkel AG 8595 Waldsassen	Grube im Wiesauer Wald TK 25: 6039 Mitterteich R: 45 15 60, H: 55 31 70

Die im Mittelalter und wahrscheinlich schon früher im Tagebau betriebene Tongewinnung wurde in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts auf Untertagebetrieb umgestellt.

Ihr Vorhandensein verdankt die Lagerstätte einem grabenartigen Einbruch in einem gegen Osten einfallenden Buntsandsteinsattel. Die in verschiedenen Richtungen streichenden Staffel- und Grabenbrüche bilden die tektonischen Grenzen des Vorkommens. Die Klingenberger Tone sind die Reste einer ehemals über der Buntsandsteinplatte weitverbreiteten jungtertiären Seeablagerung. Durch das Absinken der einzelnen Schollen an sich kreuzenden Bruchstörungen wurde die Lagerstätte aus der Mitte der Seeablagerung dem Wirkungsbereich postsedimentärer Abtragung entzogen.

Der Klingenberger Tongraben zeigt die Form eines nach Norden zulaufenden spitzwinkeligen Dreiecks von ca. 1 km Nord-Süd-Erstreckung und max. ca. 150 m Ost-West-Ausdehnung (Abb. 4).

Die eigentliche Lagerstätte liegt innerhalb nicht abbauwürdiger Tone (sog. „Rote Tone“) in Form einer max. 30 m mächtigen Linse. Vom Hangenden zum Liegenden folgen hellgrauer Schamotte-Ton, reinster Tiegelton (auch „Glaserde“ genannt) und grauer Ton mit zwischenlagerndem schwarzgrauem „Bleistiftton“. Die Mächtigkeit dieser einzelnen Tone schwankt jeweils. Jede dieser Schichten kann bis 20 m erreichen.

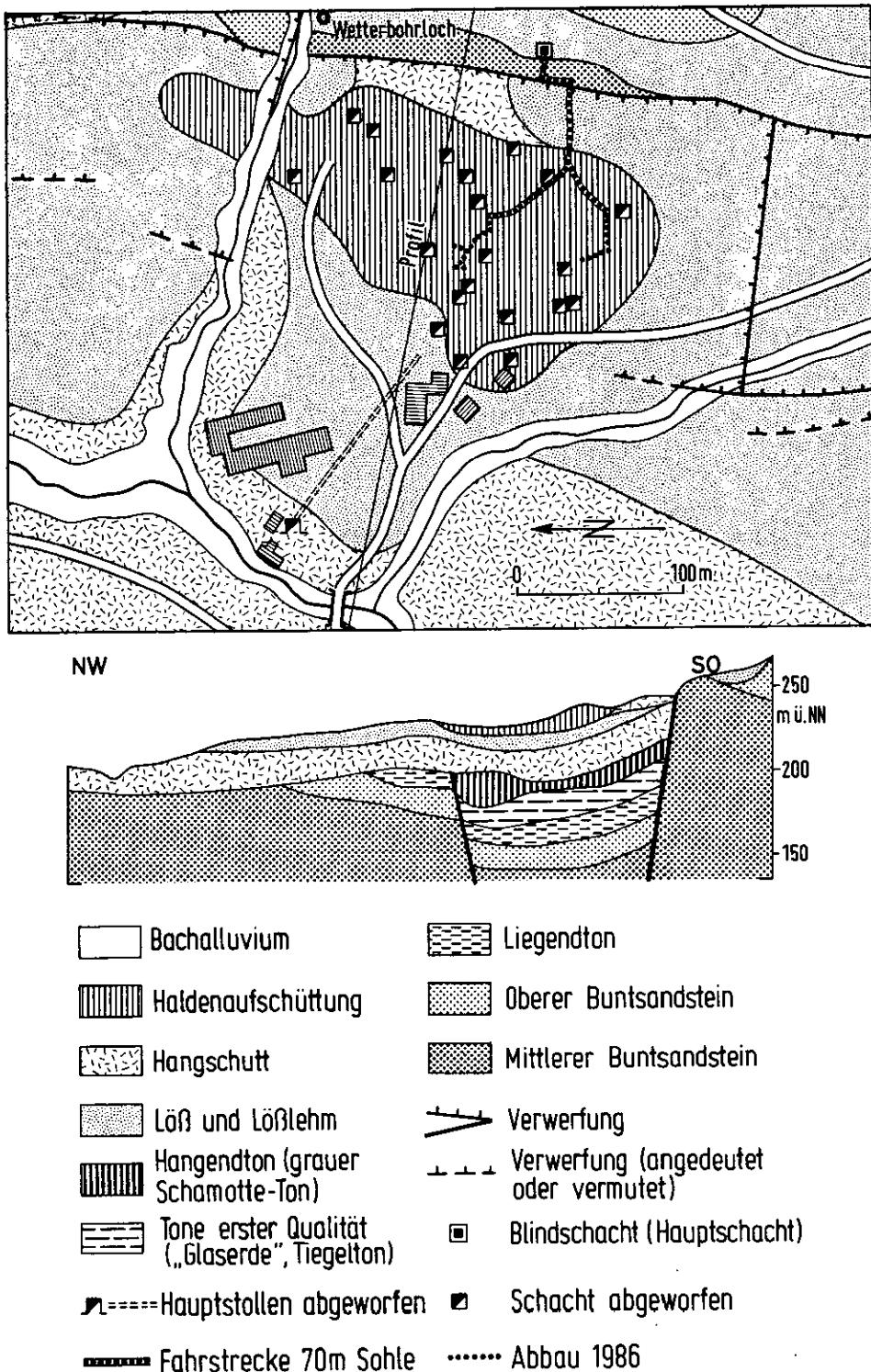


Abb. 4. Das Tonbergwerk Klingenberg und sein geologischer Rahmen.

Die Klingenberger Tone zählen qualitativ in ihrer Art zu den besten der Welt. Ihre hervorragenden technischen Eigenschaften beruhen auf mehreren Faktoren: Die Tone sind hochplastisch, homogen und gleichmäßig feinkörnig mit einem Kornanteil  $< 2 \mu$  von 85–98 Gew.-%. Die mineralogische Analyse der Klingenberger Tone ergibt ca. 61% Kaolinit, 4% Montmorillonit, 10% Glimmer (Muskowit) und 25% Quarz und Feldspat. Durch den hohen Kaolinitgehalt erreicht man Seger-Kegel-Werte von 32–33. Die chemische Analyse ergibt etwa folgende Zusammensetzung (getrocknete Substanz in Gew.-%):  $\text{SiO}_2$ : 49,0–54,6%;  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ : 29,9–33,3%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 1,8–6,1%;  $\text{MgO}$ : 0,01–1,4%;  $\text{CaO}$ : 0,07–0,8%;  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ : 0,4–2,4%; Glühverlust: ca. 10%.

Die dunklen Bleistifttöne enthalten 0,17–0,34% organischen Kohlenstoff.

Die Förderung des Tones, die bis 1746 ausschließlich in kleinen übertägigen Gruben umging, konnte mit der Anlage von 20 Schächten, die direkt im Tonlager angesetzt waren und heute abgeworfen sind, auf Untertagebau umgestellt werden. Dazu kam 1786 der sogenannte Hauptstollen, der bis 1962 betrieben wurde (Abb. 4). Die derzeitige Förderung erfolgt über einen östlich der Lagerstätte im Buntsandstein abgeteuften Blindschacht mit Zugang über einen kurzen Stollen. Die Gewinnung wird im Firstenstoßbau in ansteigender Abbaustrecke auf der 70 m-Sohle in einem Nord- und einem Südfeld betrieben. Die Fahrstrecke ist in der abgebauten Lagerstätte bzw. im nicht abbauwürdigen Gestein mit Rundisen ausgebaut (Durchmesser 2 m). Im Bereich noch verwertbarer Lagerstätte kommt der Türstockausbau mit Klauenkappschuhen zur Anwendung. Die Bewetterung geschieht über einen Teil der Stollen auf der 60 m-Sohle, die über ein Wetterbohrloch von 80 cm Ø mit der Oberfläche verbunden sind. Die Wasserhaltung, die täglich ca. 25 m<sup>3</sup> zu bewältigen hat, erhält das Wasser hauptsächlich aus den Klüften des Buntsandsteins, das am Kontakt zum Tonlager dem Grubengelände zufließt. Der Ton selbst ist undurchlässig und hält auch das im Buntsandstein unter dem Tonlager gespannte Kluftwasser zurück.

Der Abbau vor Ort geschieht mit dem Tonspaten (Preßluft). Das hereingewonnene stückige, zäh plastische (Grubenfeuchte ca. 28%) Material wird über eine Rutsche auf Hunte verladen, über den Schacht zu einem Kreiselwipper gebracht und über ein Band – getrennt nach Qualitäten – in Vorratsbunker zum Abtransport per Lkw vorgehalten. Dem Abbaubetrieb ist in unmittelbarer Nähe eine Aufbereitung angeschlossen (Schnitzelwerk, Trocknung, Mahlwerk und Verpackungsanlage).

Das Gebirge, in dem der Abbau umgeht, ist zäh plastisch, so daß die aufgefahrenen Stollen im unverbauten Zustand niedergehen und sich schließen (konvergieren). Gegenwärtig geht in einem etwa 270 m langen und 120 m breiten Grubenfeld Untertage-Abbau auf einer 70-m-Sohle auf das unterste Tonlager um. Dieses Lager enthält im oberen Teil hellgrauen Ton, der hauptsächlich zu Schmelztiegeln und Isolatoren (Tiegelton Sorte Spezial) verarbeitet wird, und im liegenden Teil dunkle Bleistifttöne, die in der Bleistiftproduktion eingesetzt werden. Infolge des allseitigen Gebirgsdruckes drängt der Ton örtlich durch den Ausbau und wird mit hereingewonnen. Für die Aufrechterhaltung des Profilquerschnittes unverbauter Förderstreckenabschnitte sind demzufolge Nachrisse erforderlich.

## Förderung

Die Abbaumenge von Spezialtonen bzw. die verwertbare Förderung an säure- und feuerfesten Tonen betrug in Bayern im Jahre 1986 ca. 545 000 t. Diese Zahl schließt auch die Braunkohletone mit ein, die in manchen Statistiken als Braunkohle geführt werden. Nicht enthalten sind dagegen Tone minderer Qualität, die, z. B. als Zuschlag für die Herstellung von Zementklinkern, als bei-brächendes Material gefördert und abgesetzt wurden.

Von der vorgenannten Gesamtförderung entfallen auf die tertiären Tone des Naabsystems zwischen Nabburg und Regensburg ca. 59%. Die Tertiärtone der nördlichen Oberpfalz und Oberfrankens sind an der Förderung mit ca. 8% beteiligt. Aus den niederbayerischen Lagerstätten tertiärer Tone kommen ca. 21%. Der Tonabbau in Unterfranken, der nur mit dem Bergwerk Klingenberg vertreten ist, trägt nur knapp 1% zur Gesamtförderung bei. Tone aus den Schichten des oberen Keupers (Rhät-Lias Übergangsschichten), die in Oberfranken gewonnen werden, sind mit ca. 11% an der Förderung Bayerns beteiligt.

## Literatur

- BERGER, J. (1970): Die Tonvorkommen um Klingenberg am Main. – Unveröff. Zulass.-Arb. Univ. Würzburg: 171 S., Würzburg.
- BOSSE, H.-R., KRAUSS, U., KRUSZONA, M., SCHMIDT, H., BIEHLER, W., BOOS, R. & PERSY, A. (1986): Industriemineralen. – Untersuch. über Angebot und Nachfrage mineral. Rohst., XIX: 948 S., Basel – Hannover (Prognos AG – BGR).
- BRAND, H. (1954): Lagerstättenkunde einiger Braunkohlebecken des Fichtelgebirges. – Erlanger geol. Abh., 9: 44 S., Erlangen.
- ECKERT, F. (1957): Keramische Rhättonen bei Coburg. – Die Bearbeitung des Tonvorkommens bei Coburg geologisch-petrographisch im Hinblick auf die Entstehung und keramische Eignung. – Unveröff. Dipl.-Arb. Montan. Hochsch.: 75 S., Leoben.
- KROMER, H. (1978): Tertiär-Tone in NE-Bayern, 1. Petrographie-Mineralogie-Geochemie. – Fortsch. Mineral., 56 (1): 104 S., Stuttgart.
- PFISTER, P. (1976): Tonbergwerk der Stadt Klingenberg und seine Geschichte. – In: STADT KLINGENBERG [Hrsg.]: 700 Jahre Stadt Klingenberg: 198–253, Obernburg-Klingenberg.
- TILLMANN, H. (1956): Zur Geologie des Oberpfälzer Tertiärs und seiner Lagerstätten. – In: BAYERISCHE BRAUNKOHLENINDUSTRIE AG [Hrsg.]: 50 Jahre BBI: 109–127, Schwandorf.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden. – Geologica Bavaria, 86: 563 S., München.

## Bentonit (Bleicherde)

Von HERMANN WEINIG

Mit 3 Abbildungen und 1 Foto

Bentonit, ein wertvoller Spezialton, kommt im Inland nur im bayerisch-schwäbischen Tertiärhügelland in bauwürdiger Ausbildung vor, weshalb die dortigen Lagerstätten besondere Bedeutung besitzen. Der Name des Tones ist von der Typlokalität dieses Rohstoffes, Fort Benton in den USA, abgeleitet. In Niederbayern werden die Tone nach ihrem früheren Hauptverwendungszweck auch Bleicherden, nach dem hellfarbenen Rohstoff des Malgersdorfer Gebietes auch Weißerden genannt.

Die Gewinnung dieses Rohstoffes begann Ende des 19. Jahrhunderts im Malgersdorfer Gebiet. Bald darauf wurde Bleicherde auch im Raum Landshut gefunden und dort 1906 bei Kronwinkl erstmals abgebaut. Nach weiteren Aufsuchungserfolgen verlagerte sich der Abbau bald ganz auf den Bereich Landshut-Mainburg. Nachdem anfangs die Weißerde zuerst zum Färben, dann zum Bleichen verwendet wurde, entwickelte sich nach dem 2. Weltkrieg eine Industrie, die den Rohstoff heute unter Ausnutzung seiner chemisch-physikalischen Eigenschaften in besonderer Weise aufbereitet und vielfacher Verwendung zuführt (s. u.).

### Unternehmen

Während nach dem Kriege noch mehrere Firmen an der Bentonitgewinnung beteiligt waren, wird der Bergbau heute im wesentlichen noch von zwei großen Firmen getragen. Die Fa. Neuhaus & Giebisch Bergbauunternehmung, Landshut, derzeit 8 Gruben, arbeitet als Bergbaubetrieb, der das Rohmaterial der mit ihr in einer Arbeitsgemeinschaft verbundenen Fa. Erbslöh & Co. Geisenheimer Kaolinwerke zur Verarbeitung in zwei Aufbereitungsanlagen in Landshut zuleitet. Die Fa. Südchemie AG, München, derzeit 16 Gruben, betreibt über ihre Außenstelle in Gammelsdorf die Förderung des Rohgutes, das im Werk Moosburg aufbereitet und verarbeitet wird. Als Zulieferer von Rohbentonit betreibt die Fa. Bergbau GmbH, Landshut, einen Tagebau.

### Geographische Lage

Die Hauptverbreitung der heute allein in der Landshuter Region in Abbau stehenden Bentonitlagerstätten erstreckt sich über ein ca.  $40 \times 8$  km messendes Gebiet, das vom Raum beiderseits des Isartales südlich Landshut bis westlich Mainburg reicht (Abb. 1). Die Umgrenzung dieses Raumes ist – wenn auch durch jahrzehntelange Aufsuchungserfahrung relativ gut bekannt – nicht scharf

zu markieren, da auch an seiner Peripherie immer wieder Prospektionserfolge zu verzeichnen sind.

Heute lagerstättenkundlich nicht mehr interessante Restvorkommen befinden sich in den ursprünglichen Abbaugebieten des Raumes Niederhausen (Vilstal) – Simbach – Malgersdorf und südlich des Kollbachtals. Vorkommen untergeordneter Bedeutung sind aus dem Raum südwestlich Aichach sowie westlich des Lechs von Thannhausen bekannt. „Krumbader Badstein“ wird beim Heilbad Krumbad (östlich Krumbach) einem Vorkommen von harter „Platte“ entnommen, das hierfür im Bedarfsfall freigelegt wird.

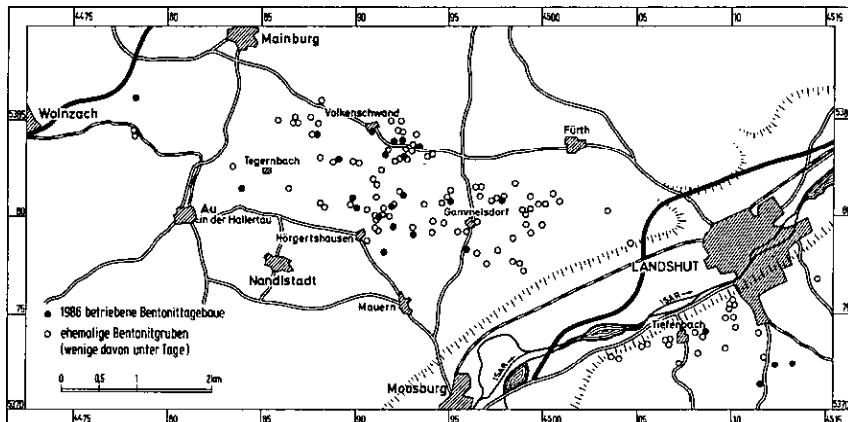


Abb. 1. Lage der ehemaligen und derzeit in Betrieb befindlichen Bentonitgruben im Raum Landshut–Mainburg.

### Geologie und Entstehung der Lagerstätten

Die Bentonite wurden durch die Untersuchungen von ROSS & HENDRIKS (1948) als Verwitterungsprodukte saurer, vulkanischer Glastuffe erkannt. Durch Umlagerung und fluviatilen Transport erfolgte ihre Sedimentation zu teils bauwürdigen Lagen. Ihre mindestens einmalige Umlagerung leitet HARR (1976) aus mineralogischen Befunden ab. Die Herkunft des vulkanischen Ausgangsmaterials wird diskutiert (z. B. UNGER & NIEMEIER 1985 a).

Die Bentonitlagerstätten sind an einen in der Regel nur wenige Meter mächtigen Schichtenkomplex innerhalb der bayerischen Vorlandmolasse gebunden. Die als Obere Süßwassermolasse bezeichneten Ablagerungen stellen einen sehr heterogen aufgebauten Schichtenstoß dar, der von fluviatiler und limnischer Fazies in häufigem Wechsel gekennzeichnet ist. Kiese und Sande mit unterschiedlicher Kornzusammensetzung und reine Sande stellen den Hauptanteil. Sie werden von meist nicht über weite Strecken aushaltenden Mergeln, Tonen oder Kalken unterbrochen. Laufend aufeinanderfolgende Schüttungsdiskordanzen, besonders innerhalb grobklastischer Serien, größere Schichtlücken mit teils tief eingreifenden Erosionsdiskordanzen und häufiger Fazieswechsel erschweren eine rasche stratigraphische Orientierung im Aufschluß und Gelände oder die Einordnung von Bohrgut. Durch langjährige bergbauliche Aktivitäten und

zahlreiche geologische Arbeiten konnten jedoch in der Praxis anwendbare Erfahrungen und Kenntnisse über Lagerung und Verbreitung der Bentonite erworben werden.

Das Liegende des bentonithöffigen Horizontes bilden die über 100 m mächtigen Landshuter Schotter (BLISSENBACH 1975) oder auch „Nördliche Vollschotter“: sandige Kiese mit erheblichem Grobanteil, in die gelegentlich Feinsedimentlagen eingeschaltet sind. Diese in frischem Zustand grauen Grobschotter stellen eine in der Regel gut anzusprechende Schichtseinheit dar. Ihre Obergrenze gibt für die Praxis einen guten Orientierungshorizont ab.

In die über dem Landshuter Schotter folgenden Sedimente, die von sehr verschiedener Ausbildung sind und lithologisch keine gesetzmäßige Abfolge erkennen lassen, sind die Bentonitlagerstätten eingeschaltet.

Mit der Aufeinanderfolge der die Bentonite umgebenden Schüttungseinheiten befaßten sich durch sedimentanalytische Untersuchungen UNGER & NIEMEYER (1985 a, b), die eine zweiphasige Bentonitablagerung nachweisen. Allerdings greift das dem jüngeren Sedimentationszyklus vorausgehende Erosionsrelief bis auf und auch unter das Niveau der älteren Bentonite, so daß keine in der Praxis anzuwendende Systematik zu erkennen ist. Ebenso ist aus den liegenden und hangenden Begleitsedimenten der Bentonite keine streng wiederkehrende Gesetzmäßigkeit abzuleiten.

Die Bentonite lagern teils unmittelbar dem Schotter auf, häufiger sind sie aber auch mit einem Feinsedimentstoß vergesellschaftet, den sie meist nach oben abschließen. Für diese weit verbreiteten, 0 bis maximal 15 m mächtigen Feinsedimente (im wesentlichen glimmlig-schluffige Sande und blau-grüne Mergel, daneben auch stärker tonige und kalkige Bildungen) wurde von BATSCHE (1957) der Begriff Sand-Mergel-Decke eingeführt und von zahlreichen anderen Bearbeitern des niederbayerischen Tertiärs (z. B. HOFMANN 1973) übernommen. Auch wenn diese Bildungen nicht als geschlossene Decke vorliegen und ihre stratigraphische Einheit nicht gesichert scheint, ist diese Sedimentgruppe seit langem ein wichtiger Orientierungshorizont für die praktische Einstufung der Bentonite (z. B. BESCHOREN 1955: „Sie liegen mit wenigen Ausnahmen meist auf Feinsedimenten dicht über dem Hauptschotter“). Es ist daher vertretbar, den oben genannten Begriff in der Praxis der Bentonitaufsuchung beizubehalten, wobei seine Bezeichnung als Sand-Mergel-Horizont den Umständen besser gerecht wird.

Das Ablagerungsniveau der Bentonite differiert selbst im engeren Bereich (bei benachbarten Lagerstätten) um mehrere Meter. In wenigen Fällen wurden Höhendifferenzen der Basis nahe beieinanderliegender Vorkommen von knapp 18 m gemessen; bisher ist eine Grube mit zwei übereinanderliegenden Bentoniten – Basisdifferenz 14 m – bekannt (UNGER & NIEMEYER 1985 b). Meist betragen die örtlichen Höhenunterschiede zwischen 0 m und ca. 8 m. Bei höheren Werten müssen auch tektonische Ursachen in Erwägung gezogen werden, wie sie etwa im Raum Landshut Süd nachgewiesen sind.

Als mittleres Höhenniveau der Bentonitlagerstätten lassen sich folgende regionale Angaben machen: Die höchsten Lagerstätten befinden sich im Raum

Mainburg etwa zwischen 485 m und 490 m ü. NN. Die Vorkommen sinken bis zur Isar mit dem leichten Südfallen der Molasseschichten auf etwa 465 m ü. NN ab. Südlich der Isar fallen die Bentonite weiter nach Süden (ca. 450 m). Im Bereich der kleinen Vils sind sie bereits – falls noch ausgebildet – unter dem Talboden zu vermuten und damit einer wirtschaftlichen Nutzung entzogen. Östlich Landshut sind die Bentonite auf der Nordschulter einer Bruchstörung auf 470 m ü. NN angehoben.

Das unmittelbar Hangende der Bentonitvorkommen bilden vorwiegend sandige Mittelkiese. Daneben treten feldspatführende Sande, kiesig-sandige Mischglieder, seltener Feinsedimente wie Mergel, Kalke und Tone auf.

Insgesamt setzen sich die Hangendsedimente aus mehreren sich verzahnenden, mischenden und wechsellegernden Sedimenten bzw. Schüttungseinheiten zusammen, die sich von den Liegendschottern der Bentonite durch feineres Korn und petrographischen Inhalt in der Regel deutlich unterscheiden.

Die vorherrschend aus rolligen Klastika aufgebaute Serie bildet den Kuppenbereich des Tertiären Hügellandes. Sie kann die Bentonitvorkommen mit Mächtigkeiten bis zu mehreren 10er m überlagern, womit dem Bentonitbergbau, durch die Mächtigkeit des Abraums bedingt, Grenzen gesetzt sind.

### Lagerstätten und Rohstoffbeschaffenheit

Die Bentonite sind einem Relief eingelagert, das durch mäanderartig gewundene Flussläufe bzw. deren seeartig ausgeweitete Stillwasserbereiche gekennzeichnet ist. Sie füllen diese Rinnen und Mulden nicht durchweg in bauwürdiger Ausbildung und setzen häufig ganz aus. Es liegt (lag) eine Vielzahl größerer Einzelvekommene vor (geschätzte Größenordnung: 200), von denen ein großer Teil als Lagerstätten ausgebildet ist (war). Die Ausdehnung der einzelnen Lagerstätten schwankt zwischen einigen 100 m<sup>2</sup> und 2–3 Hektar. Abbildung 2 vermittelt mit Anordnung und Ausdehnung ehemaliger Grubenfelder einen Eindruck der Lagerstättendichte im Raum Gammelsdorf.

Der grubenfrische Bentonit ist nicht verfestigt und bricht unregelmäßig stückig mit je nach Tongehalt glatter bis rauher Oberfläche. Er ist von wachs- bis seifenartiger Beschaffenheit.

FAHN (1973) gibt einen Überblick über die mittlere Zusammensetzung der in weiten Grenzen, d. h. vom unbrauchbaren bis zum hochwertigen Material schwankenden Zusammensetzung: Die bauwürdigen Bentonite enthalten zwischen 60 und 90% Montmorillonit, wobei die Höhe des Montmorillonitgehaltes die Qualität des Rohtones bestimmt. Als weitere tonige Bestandteile treten vor allem Illit und Kaolinit auf, während Quarz, Glimmer, Feldspäte untergeordnet vertreten sind (Gläser treten in stark wechselnden Anteilen auf oder fehlen – vgl. HARR 1976).

Folgende chemische Zusammensetzung (Gew.-%) gilt als charakteristisch:  $\text{SiO}_2$ : 57,0;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 21,2;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 5,1;  $\text{CaO}$ : 4,5;  $\text{MgO}$ : 2,1;  $\text{K}_2\text{O}$ : 1,4;  $\text{Na}_2\text{O}$ : 0,2;  $\text{TiO}_2$ : 0,2; Glühverlust: 8,2.

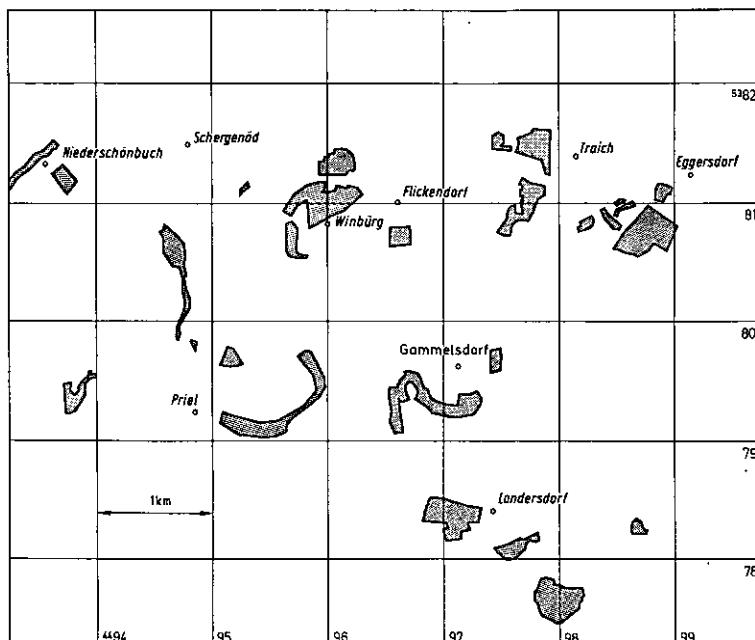


Abb. 2. Die Ausdehnung und Verbreitung ehemaliger Grubenfelder im Raum Gammelsdorf charakterisieren in etwa die Lagerstättendichte im Raum Landshut-Mainburg.

Zum Vergleich seien die Grenzwerte (Gew.-%, gerundet) von 9 Analysen aus UNGER & NIEMEYER (1985 b) angeführt:  $\text{SiO}_2$ : 53–66;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 14–20;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 2,5–5,5;  $\text{MgO}$ : 1,4–3,9;  $\text{CaO}$ : 1,1–1,7;  $\text{Na}_2\text{O}$ : 1,4–2,2;  $\text{K}_2\text{O}$ : 0,2–2,9;  $\text{TiO}_2$ : 0,2–0,5; Glühverlust: 11–19.

Bentonite enthalten in grubenfrischem Zustand einen Wassergehalt von 35–40%.

Die Bentonitflöze liegen in Mächtigkeiten bis über 10 m vor, was allerdings die Ausnahme darstellt. Bentonitabfolgen mit Mächtigkeiten von über 2–3 m enthalten im Mittelteil oft einen blaugrauen, verfestigten Tuffstein (Plattenton, harte Platte, kurz: „Platte“), der bislang in der Regel nicht verwertbar ist. Er nimmt Mächtigkeiten bis zu einigen Metern an und keilt bei Mächtigkeitsabnahme der Gesamtfolge häufig aus. Diese Lage wird als nicht oder nur teilweise umgesetztes Ausgangsmaterial gedeutet.

Plattenfreie Bentonitabfolgen erreichen Mächtigkeiten bis zu ca. 3 m, wobei häufig folgendes Standardprofil anzutreffen ist: Unten liegen oft einige Zentimeter, in Ausnahmefällen wenige Dezimeter reine Tone bester Qualität („Satz“), die auch fehlen können. Darüber folgen Tone, deren Qualität von Grube zu Grube sowie im Aufschlußprofil selbst wechseln kann. Sie bilden den Hauptanteil der Lagerstätten. Die meist ungeschichtet erscheinenden Tone sind je nach dem Oxidationsgrad ihres akzessorischen Eisengehalts blaugrau, olivfarben oder gelblichbräunlich gefärbt. Die Bentonite können vor allem im oberen Profilteil auch feinsandig-schluffig ausgebildet oder durch karbonatische Ausfällungen verunreinigt sein. Unbrauchbare sandig-mergelige Lagen sind bisweilen ein-

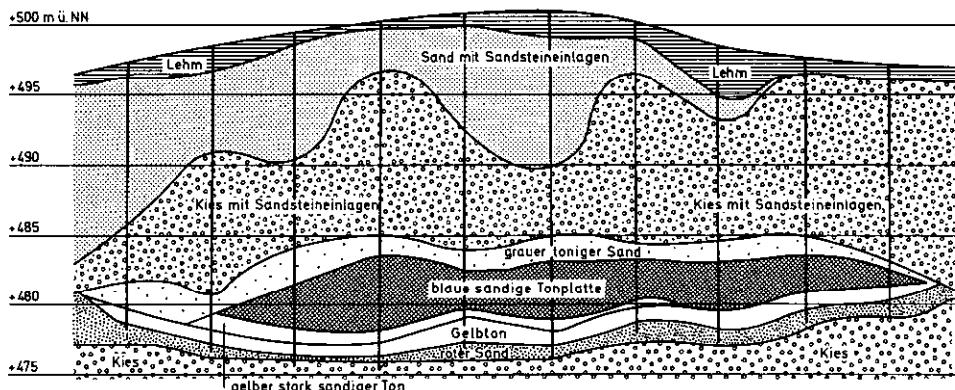


Abb. 3. Typisches Profil durch eine Bentonitlagerstätte (Niederreith) nach FAHN (1973); Abbauziel war der hochwertige Gelbton. Der sandige Bentonit über der nicht verwertbaren „Platte“ ist von minderer Qualität. – Profillänge: 250 m; senkrechte Striche: Prospektionsbohrungen.

geschaltet. Tone mit besonders hohen Gehalten an Montmorillonit liegen als „Gelbton“ meist im unteren Profilteil vor, während die häufigeren blau-grau- und grünfarbenen Bentonite mittlere bis schlechte Qualitäten aufweisen.

Nach FAHN (1973) ist ein Typprofil einer Bentonitlagerstätte in Abbildung 3 wiedergegeben. UNGER & NIEMEYER (1985 b) dokumentieren die Bentonitabfolgen anhand etlicher neuerer Grubenaufschlüsse.

### Aufsuchung und Gewinnung

Auf Bentonit – ein dem Grundeigentümer vorbehaltener Rohstoff – wird laufend prospektiert. Dies geschieht durch ein engmaschiges Netz von Bohrungen (Abstand einige 10er m), die auf den bentonithöflichen Horizont (s. o.) ange setzt werden. Bei Auffindung von Bentonit erfolgt eine Untersuchung des Vor kommens durch besonders dicht stehende Bohrungen.

Neben – heute ausschließlich angewandtem – Tagebau bestand bis Ende der 60er Jahre auch untertägiger Abbau. Dabei diente die „harte Platte“ als Firste.

Mit der heute zur Verfügung stehenden Technik (z.B. Schürfkübellader, Großbagger) können bis zu 30 m mächtige Abraumschichten bewältigt werden. Die Tonlager werden sorgfältig ausgehalten und nach Erfahrung und Augenschein, unterstützt durch Materialanalysen, selektiv nach verschiedenen Qualitäten abgebaut (z. B. durch Radlader oder Hydraulikbagger). Eine sorgfältige Bentonitförderung durch erfahrene, bergmännische Fachleute mit Qualitätskenntnissen ist Voraussetzung für die Güte und Gleichmäßigkeit des abgebauten Bentonits (FAHN 1965).

Im Verbreitungsgebiet der Bentonite zwischen Landshut und Mainburg sind im Schnitt etwa 20 meist ziemlich kurzlebige, nur wenige Jahre offene Tagebaue in Betrieb (Taf. 5: Foto 1).

Da die Bentonitlagerstätten im Kuppenbereich des Tertiärhügellandes auftreten, kann in der Regel aus trockenen Tagebauen gefördert werden. Im Verband mit den begleitenden Feinsedimenten können Bentonite und Mergel jedoch bereichsweise ein schwebendes Grundwasserstockwerk hervorrufen (vgl. WROBEL 1973), das dann mit schwacher Schüttung über dem Bentonit ausläuft („Wasserkies“). Durch Pumpen oder im freien Gefälle wird das Wasser problemlos abgeführt.

Erwähnt sei die beispielhafte Rekultivierungsarbeit der Bentonitindustrie. Wegen des im Verhältnis zum Abraum kaum ins Gewicht fallenden Massenverlustes durch den Tonabbau, kann das – in der Regel durch Ackerbau genutzte – Gelände in ursprünglicher Form wieder an den Besitzer zurückgegeben werden.

### Produktion und Verwendung

Die Jahresförderleistung (Rohförderung) lag 1986 bei ca. 638 000 t. Der Rohton wird aus den Gruben per Lkw in die Werke nach Moosburg bzw. Landshut gefahren.

Über Aufbereitung und industrielle Verwendung der Bentonite berichten ausführlich FAHN (1965) sowie FAHN & BUCKL (1968). Nach sorgfältiger Materialauslese bei der Förderung erfolgt nach Lagerung und Mischung größerer Bentonitmengen ein Ausgleich regional bedingter Qualitätsschwankungen der Rohbentonite. Bisweilen werden härtere Bentonite (Plattenmaterial) auch längere Zeit der Verwitterung ausgesetzt.

Die Aufbereitung der Bentonite erfolgt je nach dem angestrebten Verwendungszweck in verschiedener Weise:

**Rohbentonit** (natürliche, vorwiegend mit Ca- und Mg-Ionen belegte Tone): Entscheidend für die Verwendung ist ein hoher Feinheitsgrad des Tones. Nach Trocknung erfolgt daher Feinmahlung auf Teilchengröße unter 60  $\mu$ .

**Aktivierte Bentonite:** Die Rohbentonite werden auf verschiedene Weise aktiviert, d. h. die natürlich vorhandenen Erdalkaliionen werden durch andere Ionen ersetzt. Man unterscheidet sauer aktivierte Bentonit (Bleicherden), alkalisch aktivierte Bentonit (Aktivbentonit) und organophile Bentonite (Bentone). Die Weiterverarbeitung erfolgt wiederum durch Trocknen und Feinmahlen.

Die Anwendung der Bentonite macht sich die vielfältigen speziellen Eigenschaften des natürlichen und des aufbereiteten Tones (d. h. des Montmorillonites), vor allem Quellfähigkeit, hohe Ionenaustauschkapazität, hohes Adsorptionsvermögen und Thixotropie, zunutze.

Die Vielfalt der Bentonitverwendung macht die besondere Bedeutung dieses Rohstoffes offenkundig. Die Anwendungsgebiete können hier nur als stichpunktartige Zusammenfassung der ausführlichen Darstellung von FAHN & BUCKL (1968) wiedergegeben werden. So dienen Bentonitprodukte in der Lebensmittel- und Mineralölindustrie zur Raffination, Entfärbung und Reinigung (z. B. von Speiseölen und -fetten, Zucker, Wein u. a. Getränken, bzw. von

Mineralölen, -fetten, -wachsen usw.) sowie dem Cracken von Ölen. In der chemischen Industrie sind Bentonite Träger von Katalysatoren, Insektiziden u. ä. sowie Füllstoffe für plastische u. ä. Massen.

Bentonite werden weiter benötigt von der Pharmazeutischen Industrie (Rohstoff für Medikamente, Salben etc.), der Gießereiindustrie (verschiedene Formsandbinder), der Bohrtechnik (Bohrspülungsmittel), dem Hüttenwesen, der Bauindustrie (z. B. als Zusatz für Spezialbeton, als Dichtungsmittel z. B. beim Bau von Dämmen, zum Bau von Schlitzwänden, als Gleitmittel), der keramischen Industrie, der Bitumenverarbeitung, der Farben- und Lackindustrie sowie im Bereich des Umweltschutzes (z. B. Wasserreinigung, Deponiedichung).

## Literatur

- BATSCHE, H. (1957): Geologische Untersuchungen in der Oberen Süßwassermolasse Ostniederbayerns (Blatt Landau, Eichendorf, Simbach, Arnstorf der Topogr. Karte 1:25 000). – Beih. Geol. Jb., **26**: 261–307, Hannover.
- BESCHOREN, B. (1955): Die Vorlandmolasse im Gebiet der unteren Isar. – In: ABELE, G. et al.: Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte der Süddeutschen Molasse 1:300 000: 59–67, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- BLISSENBACH, E. (1957): Die jungtertiäre Grobschotterführung im Osten des bayerischen Molastertroges. – Beih. Geol. Jb., **26**: 9–48, Hannover.
- FAHN, R. (1965): Über die Gewinnung und Aufbereitung von Bentonit. – Keram. Z., **17** (9): 596–598, Freiburg i. Br.
- (1973): Die Gewinnung von Bentoniten in Bayern. – Erzmetall, **26**: 425–428, Stuttgart.
- FAHN, R. & BUCKL, H. (1968): Industrielle Verwendung von Bentonit. – Keram. Z., **1968** (5): 1–6, Freiburg i. Br.
- HARR, K. (1976): Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an Bentoniten in der Süddeutschen Molasse. – Diss. Univ. Tübingen, 131 S., Tübingen.
- HOFMANN, B. (1973): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7439 Landshut Ost. – 113 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- ROSS, C. S. & HENDRIKS, S. B. (1945): Minerals of the montmorillonite group. – Prof. Pap. U.S. geol. Surv., **205 B**: 23–79, Washington.
- SIEGL, W. (1948): Glastuff in der oberbayerischen Molasse und seine Beziehung zur Bleicherde. – N. Jb. Mineral. Geol. Paläont. Mh., Abt. A, **1945–48**: 77–82, Stuttgart.
- UNGER, H. J. (1981): Bemerkungen zur stratigraphischen Stellung, der Lagerung und Genese der Bentonitlagerstätten in Niederbayern. – Verh. geol. B.-A., **1981** (2): 193–203, Wien.
- UNGER, H. J. & NIEMEYER, A. (1985 a): Die Bentonite in Ostniederbayern – Entstehung, Lagerung, Verbreitung. – Geol. Jb., **D 71**: 3–58, Hannover.
- (1985 b): Bentonitlagerstätten zwischen Mainburg und Landshut und ihre zeitliche Einstufung. – Geol. Jb., **D 71**: 59–93, Hannover.
- VOGT, K. (1980): Bentonite Deposits in Lower Bavaria. – Geol. Jb., **D 39**: 47–68, Hannover.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden. Mit einer Karte 1:500 000. – Geologica Bavaria, **86**: 563 S., München.
- WROBEL, J.-P. (1973): Hydrogeologie. – In: HOFMANN, B.: Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7439 Landshut Ost: 89–96, München (Bayer. Geol. L.-Amt).

## Quarz

Von WINFRIED WEINELT

Mit 2 Abbildungen, 3 Tabellen, 1 Foto und 1 Beilage

In Ostbayern entziehen sich die archivalischen Nachlässe zur Geschichte und Entwicklung des privaten Quarzbergbaus im allgemeinen einer chronologisch detaillierten Betrachtung. Wo jedoch der Abbau von Quarz im Bereich eines Berg- oder Forstamtes vor sich ging, finden sich vereinzelt Unterlagen, die wenigstens zu einer Teilkürzung der Gewinnungsbedingungen beitragen.

Bereits mit den Glashüttengründungen vom 15. bis zum 17. Jahrhundert wurde das Recht auf freie Quarznutzung in den hüttenigen Wäldern vertraglich zugesichert und praktiziert. Die Bergordnung des Churfürsten CARL THEODOR von 1784 legte das Schurf- und Nutzungsrecht privater Gewerken fest, das 1791 erneut bestätigt wurde und auch den „Glas Küß“ (Glaskies) von der bergamtlichen Aufsicht ausnahm. Demnach sollte es – was den Quarz betraf – mit Einwilligung des Grund- und Jurisdiktionsinhabers „einem jeden darauf zu suchen und zu graben frey stehen“.

Bewußter Mißbrauch oder ungewollte Fehldeutung der Bergordnung von 1784 führten zu der im Auftrag der Königlichen General-Bergwerks- und Salinen-Administration in den Jahren 1836 bis 1839 durchgeführten statistischen Erhebung und Beschreibung der Quarzbrüche im sogenannten „Unterdonaukreise“.

HALLER (1971), dessen Arbeit die vorstehend aufgeführten Daten entnommen sind, gibt in seinem darin abgedruckten Register allein für die Zeit von 1800 bis 1850 23 private und 2 staatlich betriebene Quarzbrüche im Bayerischen Wald an, von denen 14 auf Privatgrund und 11 in Staatswaldungen lagen und führt hierfür Ort, Gemeinde, Landgericht, Besitzer, Art des Abbaues, Abnehmer, Verkaufspreis usw. auf.

Außer gebrochenem Quarz wurden auch „herumliegende Quarzgeschiebe“ gesammelt und an die Glashütten veräußert. Die Betreiber der Quarzbrüche waren damals neben den bürgerlichen Grundeigentümern vor allem die Glashüttenherren, die auf eigenem oder gepachtetem, auf privatem oder staatlichem Boden abbauten bzw. von Tagelöhnern abbauen ließen.

Finanzielle Schwierigkeiten und für einen geordneten Bergbau fehlende bergmännische Kenntnisse dieser „Kiesbrecher“ sowie das in den von übertage, vom Ausbiß her, angelegten Tagebauen zusitzende Grubenwasser brachten die Gewinnung meist bald zum Erliegen. Die Zunahme der Zahl der Glashütten im 19. Jahrhundert und der auftretende Mangel an brauchbarem „Glaskies“ (Quarz) hatten die Rohstoffsituation derart verschlechtert, daß die Bergbehörde

1836 die Überzeugung gewann, den Quarz zu denjenigen Mineralien zu rechnen, die sich zur bergmännischen Gewinnung eignen. Unfachmännischer Raubbau und viele auflässige Gruben rieten zu einer bergmännischen Aufsicht und verlangten den Quarz in die Liste der „wichtigen Fossilien wie Porzellanerde, Graphit und Alabaster“ einzureihen. Der Erlaß des Staatsministeriums vom 18.2.1839 trug diesem Verlangen Rechnung, doch konnte sich das Quarzbrechen auf privatem Grund sowie das freie Schürfen und Muthen unangetastet fortsetzen und auch das Berggesetz für das Königreich Bayern vom 20.3.1869 bestätigte weiterhin diese für einen geordneten Bergbau einschneidenden Privilegien.

Handelte es sich bei dem für die Glasfabrikation verwendeten Quarz zunächst hauptsächlich um Pegmatitquarz (zum Beispiel um die auf der „Kiesebene“ 1756 von J. G. WISSGER entdeckte Quarzlagerstätte vom Hennenkobel bei Rabenstein/Zwiesel mit 5000 bis 6000 t Quarz), so wurde im 19. Jahrhundert auch der für die Glasschmelze weniger geeignete „Pfahlkies“ (Pfahlquarz) herangezogen und an mehreren Stellen, so bei Schützenhof, Gemeinde Eggenried sowie in der Nähe der Burg Weißenstein bei Regen gewonnen. Schon v. GÜMBEL (1868) verwies darauf, daß der Pfahlquarz in der Auluß bei Falkenstein, westlich von Gehmannsberg, die erforderliche Reinheit besitze und für die Glasfabrikation geeignet sei. Zur endgültigen Stagnation der Quarzförderung für die Glasfabrikation kam es im Bayerischen Wald gegen Ende des 19. Jahrhunderts. Die Quarzlagerstätte vom Hennenkobel bei Rabenstein war schon 1877 weitgehend erschöpft. Mit der Eröffnung der Eisenbahnlinie Deggendorf–Eisenstein kamen billigere und reinere Quarzsande aus den Lausitzer und den Rheinischen Braunkohlenrevieren zur Verarbeitung.

Eine ganz andere Art des Quarzbergbaus wurde Anfang des 15. Jahrhunderts mit Schächten und Stollen in Weißenstadt im Fichtelgebirge betrieben. Reine große Quarzkristalle, „Strähler“ genannt, die sich in sogenannten Kristalkellern unter der Straße fanden, waren Gegenstand der Gewinnung und Anlaß für einen lebhaften Handel.

### Unternehmen

Während noch nach dem Zweiten Weltkrieg allenthalben im Bereich des Hauptpfahles und der Nebenfähle Quarz abgebaut wurde, konzentriert sich seine Gewinnung heute nur mehr auf einzelne Großtagebaue bei Viechtach, Arnetsried und March. Das jeweilige Abbaugelände befindet sich zum Teil im Firmenbesitz, zum Teil handelt es sich um Pachtgründe. Die Tabelle 1 gibt die Lage und Größenverhältnisse der vorgenannten Tagebaue wieder.

*Tabelle 1: Lage und Größe der Tagebaue*

Bezeichnung	Lage nach Gauß-Krüger- Koordinaten	TK 25 / Blau-Nr.	Abmessungen in Metern		
			Länge	Breite	Wandhöhe
Viechtach (Fa. Krenn)	R 45.62.97 R 54.38.82	6943 Viechtach	900	90	20–40
Arnetsried (Fa. Krenn)	R 45.77.00 H 54.28.80	7044 Regen	200	25*	12–25

Bezeichnung	Lage nach Gauß-Krüger- Koordinaten	TK 25 / Blatt-Nr.	Abmessungen in Metern		
			Länge	Breite	Wandhöhe
Arnetsried II (Fa. Schmid)	R 45.75.97 H 54.29.49	7044 Regen	230	17*	10—17
Kraus-Bruch (Fa. Waschinger)	R 45.76.85 H 54.28.92	7044 Regen	77	12—16	23
Waschinger- Bruch	R 45.77.60 H 54.28.43	7044 Regen	750	22*	25
Wurzer-Bruch (Fa. Waschinger)	R 45.78.10 H 54.28.00	7044 Regen	470	15*	—

Die mit \* gekennzeichneten Abmessungen der Breite in Metern zeigen zugleich die Gangmächtigkeit an.

Der auf der Flur-Nr. 1196, westlich der Stadt Viechtach gelegene Quarztagbau ist seit dem Jahr 1910 in Betrieb. In dem auf den Flur-Nrn. 2121 und 2120 der Marktgemeinde Teisnach und auf den Flur-Nrn. 552/2, 552/1, 518, 517, 516 und 515 der Gemeinde March, südlich von Arnetsried, gelegenen Hauptbruch (Waschinger Bruch) wird seit dem Jahr 1927 Quarz abgebaut.

*Tabelle 2: Eckdaten*

Unternehmen	Förderung 1986 in t		Bergbau- produkte	Bergbau- betriebe	Beleg- schaft
	Rohförderung	Aufbereitetes absatzfähiges Gut			
Gebr. Krenn OHG Quarz- u. Granitwerke Hörmannsdorf 8391 Tittling- Stützersdorf	insgesamt 142 000	insgesamt 120 500	Quarz	Arnetsried Viechtach	
Max Schmid Quarz- u. Granitwerke 8351 Schönberg			Quarz	Arnetsried II	insgesamt 23
Michael Waschin- ger & Sohn OHG Quarzbergbau 8371 March			Quarz	March	
Gemeinde 8491 Zandt			Quarz	Stbr. Dietersdorf	

### Geographische Lage

Die in Tabelle 1 genannten Quarztagbaue liegen alle auf dem im Pleistozän morphologisch als Härtling aus den verwitterten weicheren Begleitgesteinen der Pfahlzone herauspräparierten, in Südost-Nordwest-Richtung verlaufenden

Pfahlriegel oder Pfahlrücken an der Bundesstraße 85 zwischen den Städten Regen und Viechtach, Landkreis Regen, Regierungsbezirk Niederbayern, Bergamtsbezirk München.

### Geologie und Entstehung der Lagerstätte

Ob die Bezeichnung Pfahl auf das lateinische Wort *palus* = der Pfahl oder auf *murus pallidus* zurückgeht, das heißt, ob den Römern die zumindest abschnittsweise blasse oder bleiche Quarzmauer schon bekannt war, ist nicht belegt. Belegt hingegen ist das Ministerialgeschlecht der PFAHLER, die in der Nähe von Viechtach angesiedelt waren, später in Au bei Regen sowie in Weissenstein genannt werden und vielfach mit Ämtern ausgestattet wurden. Das Geschlecht starb 1615 mit HANS CHRISTOPH PFAHLER aus.

Den Quarzgängen mit Eisenglanz vom Gleißinger Fels im Fichtelgebirge stehen die überwiegend nur Quarz-führenden Pfähle und Quarzgänge gegenüber.

Die Quarzpfähle sind vor allem am Südwestrand des Böhmisches Massivs verbreitet. Hierher gehören: der Bayerische Pfahl, der Aicha-Halser Nebenpfahl, die südöstliche Fortsetzung des Böhmischen Pfahls bei Furth im Wald, die nordwestliche Fortsetzung des Ascher Pfahls in Bayern, der Kleineinzenrieder Pfahl südlich Kötz und der Kleine oder Zeller Pfahl nordwestlich von Bodenmais. Letztere belegen die Rundinger Störungszone.

Die eingangs aufgeführten Tagebaue liegen am Bayerischen Pfahl (Hauptpfahl).

Charakteristisch für die Pfähle ist ihre erhebliche Längserstreckung, die bis über 100 km (Bayerischer Pfahl 140 km) betragen kann und ihre Bindung an mehrphasig tektonisch durchbewegte Störungszonen. Die meisten von ihnen verlaufen in Südost-Nordwest-Richtung. Zwischen ihrer Mineralisation und den großen, bis zu 2 und 3 km breiten Störungszonen bestehen enge räumliche und stoffliche Beziehungen.

Der Pfahl ist ein System von Nordwest-Südost-streichenden Fiederspalten, zum Teil auch von Nordnordwest-Südsüdost-streichenden Scherspalten bzw. Scherflächen. Bei den Nebenpfählen handelt es sich um Fiederspalten (vgl. Beil. 2). Dieses ganze große Spaltensystem riß bei einem geringfügigen Zusammenschub mit Südwest-Nordost-streichender „Achse“ auf (HOFMANN 1962, BÜLTEMANN & HOFMANN 1986). Haupt- und Nebenpfähle haben nach den beiden Autoren somit die gleiche geologische Geschichte. Im Quarz der beiden Systeme wurden von ihnen auch die gleichen nachträglichen Zerbrechungen mit jüngeren Quarzgängchenbildungen beobachtet. Diese weisen auf eine (zeitlich unwesentlich getrennte) Mehrphasigkeit der Bewegungen während der Bildung der mächtigen Gänge hin. Der Nordostblock hat hierbei eine geringfügige Horizontalbewegung nach Südosten vollführt, bzw. der Südwestblock eine entsprechende nach Nordwesten. Bei manchen Nebenpfählen finden sich entgegengesetzte Bewegungen der angrenzenden Blöcke. Die enge Nachbarschaft der Quarzgänge am Hauptpfahl spricht zweifellos für eine tiefgreifende Schwäche-

zone, für ein Lineament. Die weitständigen Nebenpfähle sind den Bewegungen am Lineament zugeordnet (HOFMANN 1962).

Die Mineralisation des Bayerischen Pfahls erfolgte entlang dieser Tiefenstörung. Damit waren anhaltende seismische Aktivitäten verbunden. Dies legt schon die Beobachtung des vielfach zerbrochenen und wieder verheilten Quarzes als Produkt eines sich wiederholenden Ereignisses dar. Von SIBSON et al. (1975) ist hierfür ein „seismic-pumping-model“ entwickelt worden. GROMES (1980) erscheint dieses Modell als geeigneter Motor zum polyzyklischen Transport der Lösungen in der Pfahlzone (vgl. Abb 1).

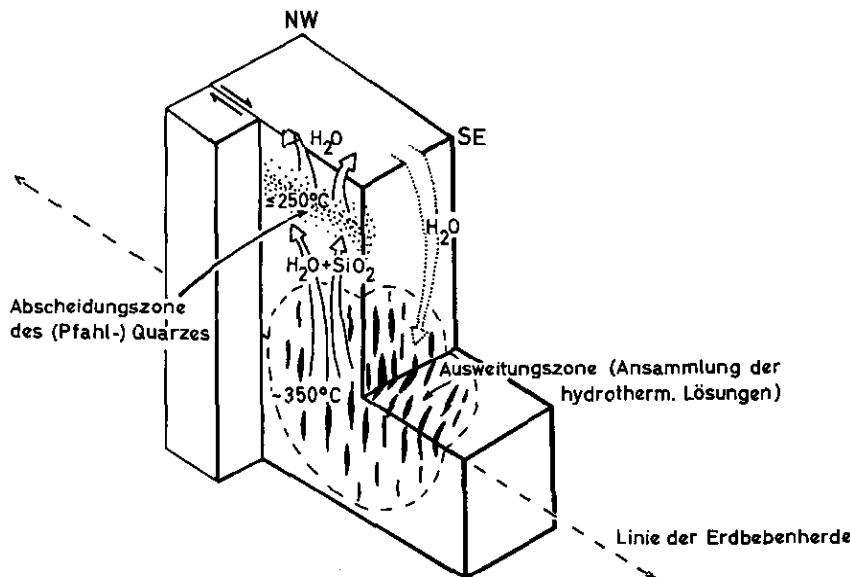


Abb. 1. Das „seismic-pumping-model“ von SIBSON et al. (1975), modifiziert von GROMES (1980). – Aus BÜLTEMANN & HOFMANN (1986: Abb. 12).

GROMES (1980) deutet die von HOFMANN (1962) als Fiederspalten erkannten Strukturelemente um und bezeichnet sie als „Pfahlelemente“. Diese werden von zwei Nordwest-Südost-streichenden synthetischen Verschiebungsflächen begrenzt, zwischen denen Nord-Süd-streichende quarzgefüllte Zerrklüfte (Trennbrüche) liegen. Letztere wären die eigentlichen Fiederspalten, die die Innenstruktur der einzelnen „Pfahlelemente“ bilden. Nach BÜLTEMANN & HOFMANN (1986) gibt das Modell von GROMES (1980) eine plausible Erklärung für die brecciose Ausbildung des Pfahlquarzes. Somit wäre es für eine Vorstellung der weiteren Entwicklung einer Pfahlfieder im HOFMANNschen Sinne akzeptabel. Die Feldbeobachtungen von BÜLTEMANN & HOFMANN (1986) zeigen nämlich, daß ein Zusammenhang zwischen dem Streichen einer Fieder und dem Streichen einer Wertezone (Vererzungszone) besteht.

HEGEMANN (1936) definierte im Quarz des Pfahls die Paragenese: Bleiglanz, Pyrit, Kupferkies, Baryt und Flußpat und hielt damit die hydrothermale Entstehung desselben für gesichert.

BÜLTEMANN & HOFMANN (1986) ordnen vor den Quarzabscheidungen eine Pechblende-Pyrit-Paragenese und nach dem Quarz eine silberführende Blei-Zink-Paragenese mit Fluorit-Nachläufern ein. Die Pechblendeabscheidung findet sich heute aureolenartig in den Quarzfiederendungen, in die sie die Quarzabscheidung verdrängte. Die jüngere Paragenese durchschlägt den Quarz schräg. Die Untersuchungen von mm- bis cm-mächtigen, primären Erzgängchen erbrachten Anzeichen einer vielfältigen und mehrphasigen Mineralisation am Pfahl. Bezuglich der Abfolgegliederung der Mineralphasen vergleiche Abbildung 2.

	alte Vererzung	Pfahl-Quarz	junge Vererzung
<b>Pechblende</b>	—		
<b>Coffinit</b>	—		—
<b>Pyrit</b>	—	—	—
<b>Quarz</b>	—	—	—
<b>Sphalerit</b>		—	—
<b>Galenit</b>	—	1.	2. 3.
<b>Chalkopyrit</b>	—		—
<b>Hämatit</b>		—	—
<b>Tetraedrit</b>			—
<b>ged. Silber</b>			—
<b>Fluorit</b>			—
<b>Dolomit</b>			—

Abb. 2. Die Abfolgegliederung am Bayerischen Pfahl. – Aus BÜLTEMANN & HOFMANN (1986: Abb. 11).

In die Folge der alten Vererzung, die Pechblende, Pyrit und radiogenen Galenit umfaßt, dringen später die ersten Schübe des Pfahlquarzes ein und ursachen die Bildung des Coffinit. Da auch der Coffinit viel radiogenen Galenit enthält, muß die Quarzausscheidung schon sehr früh begonnen haben. In den älteren Quarzabscheidungen läßt sich noch unveränderter Pyrit beobachten. Mit dem Beginn des Hauptschubs an Quarz wird Pyrit zu Hämatit oxidiert. Zwischen der Hauptabscheidung des Quarzes und der Sulfid-Phase muß ein beträchtlicher zeitlicher Hiatus liegen, da die Sulfide den Quarz durchschlagen. Die Blei-Zink-Vererzung beginnt mit eisenreichem Sphalerit mit Chalkopyrit-Entmischung und Pyrit sowie wenig Galenit. Fluorit kommt mit den Sulfiden oder als selbständige Gängchen im Nebengestein vor (BÜLTEMANN & HOFMANN 1986).

Der Paragenese der sekundären Uranminerale gehören nach BÜLTEMANN (1966) der Häufigkeit nach geordnet Torbernit, Autunit, Phosphuranylit, Uranophan, Kasolit, Parsonsit, Vandendriesscheit, Renardit und Liebigit an.

Für das Alter der Quarzabscheidungen legte HOFMANN (1962) dar, daß die Hauptmasse des Pfahlquarzes nach geologischen Indizien am Schwarzenberg bei Cham permisch sein müßte. HORN et al. (1986) geben für den hydrothermal entstandenen Quarz des Bayerischen Pfahls ein Rb-Sr-Gesamtgesteinalter von  $247 \pm 21$  Ma an.

### Lagerstätte

Der Quarz der Pfähle ist vorwiegend milchig-trüb, matt oder von weißer, grauer bzw. rostiger Farbe. Er besitzt nicht den Fettglanz des Pegmatitquarzes. Beim Schlagen bricht er meist kleinstückig-splittrig, nach Klüftchen, wie es seiner Natur als tektonischer Breccie entspricht. Er zeigt nur höchstselten trübe Kristalldrusen auf Klüften. Er besteht zu 95–98% aus Siliciumdioxid. Butzen und Überzüge einer bolusartigen, das heißt steinmarkähnlichen Substanz in eckigen Partien erzeugen durch Auswitterung eine poröse oder großlückige Struktur des Quarzes. An Beimengungen trifft man häufiger Infiltrationen von dendritischen oder traubig-nierenförmigen Eisen- und Manganoxidhydraten. Über die Mächtigkeit und die streichende Länge der in Abbau stehenden Pfahlabschnitte (Pfahlelemente bzw. Quarzfiedern) vergleiche Tabelle 1.

### Quarz-Beschaffenheit

Die großen Brüche der Pfahlzone zwischen Viechtach und Regen liefern vorwiegend Material für die Herstellung von Baustoffen, unter anderem in Form von gebrochenem Quarzkies für den Straßen- und Wegebau.

Nur durch selektiven Abbau gewonnenes, ausgesuchtes Material genügt den Anforderungen der Glas- und metallurgischen Industrie. Im Hauptpfahl und in den Nebenpfählen betragen die dem Quarz beigemengten Aluminiumoxididgehalte örtlich im Durchschnitt 2 und mehr Gew.-% Aluminiumoxid. Nur durch selektiven Abbau läßt sich hier aus günstigen Abschnitten ein Material mit weniger als 0,5 Gew.-% Aluminiumoxid für die metallurgische Industrie gewinnen.

Dagegen liegen in einigen an die Granitmassive gebundenen Quarzgängen – zum Beispiel in der Umrahmung des Intrusivgebietes von Fürstenstein oder des Granitmassivs von Metten-Schwarzach – die Aluminiumoxididgehalte meist weit unter einem halben Prozent und auch die Gehalte an Titanoxid sind hier gering (vgl. die in der Tabelle 3 aufgeführten Analysen). Die Gangquarze zeigen auch beim Wärmetest ein gutes Ofenverhalten. Hierher gehört der zum Teil abgebaute, N 38° E streichende, mit 80–88° gegen Nordwesten einfallende 5,8 m bis 8,8 m mächtige Quarzgang von Tragenreuth sowie der ebenfalls Nordnordost streichende, 10–15 m mächtige Quarzgang von Aimühl-Weissenberg-Strahberg.

*Tabelle 3: Quarzanalysen*

	Zuckenried	Tragenreuth	Weißenberg	Frath
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,5	0,05	0,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,13	0,07	0,07
CaO	0,01	0,01	0,02	0,05
TiO <sub>2</sub>	0,001	0,005	0,007	0,001
K <sub>2</sub> O	0,01	0,08	0,01	0,001

## Gewinnungstechnik, Aufbereitung und Verwendung

Die Gewinnung des Rohmaterials (Quarz) erfolgt in den Tagebauen bis 50 m Tiefe mittels Bohr- und Schießarbeit (Taf. 5: Foto 2) (mobile Kompressoren, Bohrgeräte, Hydraulikbagger), wobei zum Teil mehrere Teilstufen (Quarzbruch Viechtach, R 45.62.97, H 54.38.820) angelegt werden.

Das im Quarzbruch Arnetsried II (R 45.75.97, H 54.29.49) seit 1980 (erneut seit 1985) abgebaute Rohmaterial wird mittels Lastkraftwagen zum stillgelegten Quarzbruch Arnetsried I (R 45.75.71, H 54.29.00) transportiert und in der dort befindlichen Aufbereitungsanlage (mit 2 Silos, Brecheranlage und Bandanlage) auf Faustgröße gebrochen, gewaschen und gesiebt. Von hier befördern zur Zeit acht Lastzüge den Quarz täglich zur chemischen Weiterverarbeitung in das Rottwerk Pocking der Vereinigten Aluminium-Werke AG.

Das seit 1985 im Kraus-Bruch (R 45.76.85, H 54.28.92) gewonnene Rohmaterial wird in der Aufbereitungsanlage (mit Brecher-, Wasch- und Siebanlage) beim Waschinger Bruch (Hauptbruch, R 45.77.60, H 54.28.43) gebrochen, gewaschen und gesiebt. Hier besteht die Auffahrmöglichkeit einer weiteren, 2 m unter der derzeitigen Bruchsohle gelegenen Abbausohle.

Stückiger Quarz ( $\text{SiO}_2$ ), der hinsichtlich Reinheit und bestimmter Eigenschaften (vgl. S. 149) Mindestanforderungen genügt, ist als industrieller Rohstoff zur Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen, insbesondere von Glas, Siliciumlegierungen und anderen hochwertigen Industrieprodukten geeignet und von wirtschaftlicher Bedeutung. Am Hauptpfahl werden in vier Kleinbetrieben jährlich ca. 150 000 t Quarz gefördert. Das Rohmaterial findet – abgesehen von Abfallprodukten, die von der örtlichen Bauindustrie abgenommen werden – ausschließlich für die Herstellung von Siliciumlegierungen in den einzigen Produktionsstätten der Bundesrepublik bei den Süddeutschen Kalkstickstoffwerken Trostberg AG im Werk Hart an der Alz und im Rottwerk Pocking der Vereinigten Aluminium-Werke AG Verwendung. Die dortige Fertigung basiert auf dem Pfahlquarz als Rohmaterial, an das bezüglich Reinheit und Hitzebeständigkeit sehr hohe Anforderungen gestellt werden. Der im Lichtbogen eingesetzte Quarz muß stückig gebrochen sein und eine Körnung von 20 bis 100 mm besitzen sowie eine hohe Hitzebeständigkeit von 1000 bis 1200° C aufweisen und darf aus technischen Gründen bei diesen Temperaturen nicht zu Sand zerfallen.

Quarz von den vorstehend aufgeführten Gewinnungsstellen wird zu Ferrosilicium, zu Calcium-Silicium-Mehrstofflegierungen (mit Gehalten an Al, Ba, Ce, Mg, Mn, Ti, Zr), zu Silicomangan, Silicochrom sowie zu Silicium-Metall verarbeitet.

Diese Legierungen werden zum Desoxidieren, Legieren und Entschwefeln von Stahl sowie zum Modifizieren seiner Einschlüsse und zur Beeinflussung seiner Gußstruktur, aber auch als Impflegierungen für Gußeisen benötigt und verwendet.

**Dank:** Für die großzügige Überlassung von firmeneigenen Daten und Dokumentationsmaterial sowie für wertvolle Anregungen und Diskussionen sei den Firmen Gebr. Krenn OHG, Tittling-Stützendorf, M. Schmid, Schönberg, M. Waschinger & Sohn, March, sowie der Gemeindeverwaltung Zandt herzlich gedankt.

## Literatur

- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND VERKEHR (1978): Rohstoffprogramm für Bayern. (Mit 1 Farbtaf. von SCHMID, H. & WEINELT, Wl.: Lagerstättenkarte von Bayern 1:500 000 – Erze, Industriemineralien, Salze und Brennstoffe). – 129 S., München.
- BÜLTEMANN, H.-W. (1966): Über einige neue Vorkommen von Uranmineralien, vorläufige Mitteilung. – Aufschluß, 11: 215–286, Heidelberg.
- BÜLTEMANN, H.-W. & HOFMANN, R. (1986): Die Mineralisation des mittleren Bayerischen Pfahls. – Geol. Jb., D 83: 3–48, Hannover.
- GROMES, N. (1980): Geologische und mikrothermometrische Untersuchungen zur Mineralisation des Bayerischen Pfahls. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Göttingen: 119 S., Göttingen.
- GÜMBEL, C. W. VON (1868): Geognostische Beschreibung des Ostbayerischen Grenzgebirges oder des Bayerischen und Oberpfälzer Waldgebirges. – 968 S., Gotha (Perthes).
- HALLER, R. (1971): Privater Quarzbergbau im Bayerischern Wald. eine montanhistorische Statistik über die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts. – Aufschluß, 21: 150–156, Heidelberg.
- HEGEMANN, F. (1936): Die Bildungsweise des Quarzes im Bayerischen Pfahl. – Chem. d. Erde, 10: 521–538, Berlin.
- HOFMANN, R. (1962): Die Tektonik des Bayerischen Pfahls. – Geol. Rdsch., 52: 332–346, Stuttgart.
- HORN, P., KÖHLER, H. & MÜLLER-SÖHNUS, D. (1986): Rb-Sr-Isotopengeochemie hydrothermaler Quarze des Bayerischen Pfahles und eines Flußspat-Schwerspat-Ganges von Nabburg-Wölsendorf/Bundesrepublik Deutschland. – Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sect.), 58: 259–272, Amsterdam.
- SCHMID, H. & WEINELT, Wl. (1978): Lagerstätten in Bayern. Erze, Industriemineralien, Salze und Brennstoffe. Mit einer Lagerstättenkarte 1:500 000. – Geologica Bavaria, 77: 160 S., München.
- SIBSON, R. H., MOORE, J. M. & RANKIN, A. H. (1975): Seismic pumping – hydrothermal fluid transport mechanism. – J. geol. Soc. London, 131: 653–659, London.
- TEUSCHER, E. O. & WEINELT, Wl. (1972): Die Metallogenese im Raum Spessart-Fichtelgebirge-Oberpfälzer Wald-Bayerischer Wald. Mit einer Karte der Metallogenetischen Einheiten im Nord- und Nordostbayerischen Kristallin i. M. 1:500 000. – Geologica Bavaria, 65: 5–73, München.
- WEINELT, G. (1979): Das Glasgewerbe im Bayerischen Wald – eine Analyse unter historischem und soziokulturellem Aspekt mit besonderer Berücksichtigung des Glasmacherortes Frauenau. – 124 S., Zulassungssarb. Univ. München, München.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, Wl. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. – Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden. – Mit einer Karte 1:500 000. – Geologica Bavaria, 86: 563 S., München.



## Neuburger Kieselerde (Kieselkreide)

Von REINHARD STREIT

Mit 3 Abbildungen und 1 Foto

Die Kieselerde oder Kieselkreide in der Umgebung von Neuburg a. d. Donau, auch Neuburger Kieselweiß genannt, ist schon seit alter Zeit bekannt. Schächte, die bis in das 7. Jahrhundert n. Chr. zurückgehen, haben wahrscheinlich bereits den Abbau der Kieselerde mit zum Ziel gehabt. Nach einem handschriftlichen Bericht von 1803 darf man annehmen, daß Ton und Kieselerde aus kreidezeitlichen Ablagerungen mindestens seit dem 17. Jahrhundert abgebaut worden sind. Als im 19. Jahrhundert die Bedeutung der Neuburger Kieselerde für die Chemische Industrie erkannt wurde (Ultramarinherstellung), stieg die Nachfrage nach diesem Rohstoff an und neue Vorkommen wurden erkundet und erschlossen. Wegen ihrer besonderen Eigenschaften gehört die Neuburger Kieselerde weiterhin zu den gesuchten Bodenschätzen in Bayern.

### Unternehmen und Gewinnungsstellen

Vor der Entwicklung der Chemischen Industrie wurde die Kieselerde in engen, vertikalen Schächten, später auch in Stollen abgebaut. Zunächst war dieser Bergbau eine Nebenbeschäftigung der bäuerlichen Bevölkerung während der kalten Jahreszeit. Mit dem industriellen Aufschwung entstanden Betriebe, die den Bergbau und teilweise auch die Weiterverarbeitung übernahmen. Heute hat die Firma Franz Hoffmann & Söhne KG die alleinigen Abbaurechte für Kieselerde in der Neuburger Gegend. Durch neue Abbautechniken konnte der schwierige Tiefbau aufgegeben werden. Zur Zeit werden drei Lagerstätten ausgebeutet. Die erste befindet sich ca. 3 km nordwestlich von Neuburg (Pfaffengrund). Die zweite Lagerstätte liegt am Hainberg zwischen Riedensheim und Hütting (Kreuzgründe). Etwa 1 km nördlich von Kreuzgründe befindet sich die dritte Lagerstätte (Hütting). Diese drei Abbaustellen liegen im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen/Oberbayern, Bergamtsbezirk München. Das Rohmaterial wird aus den Gruben zur Chemischen Fabrik der Firma Hoffmann in Neuburg transportiert, wo die Weiterverarbeitung erfolgt.

### Entstehung der Lagerstätten

Als Entstehungsort der Neuburger Kieselerde darf man eine relativ flache Meeresbucht annehmen, in der während des unteren Zeitabschnitts des Unterturon Ton (Kaolinit), Feinsand und mikroskopisch feine Skelettreste von Kieselchwämmen zum Absatz kamen. Der Boden des Kreidemeeres wies nämlich eine reiche Fauna auf. Flüsse brachten vom Festland sandige und tonige Pro-

dukte, die aus kaolinigen Verwitterungsdecken stammten. Im Meer wurden sie von der Brandung weiter aufgearbeitet und durch Gezeitenströmungen, wohl als untermeerische Dünen, transportiert. Die Meeresbucht zwischen Eichstätt und Pfaffenhofen a. d. Ilm, die in westlicher Richtung bis gegen Donauwörth reichte, bildete für diese Sedimente den Ablagerungsraum. Insbesondere scheinen sich die Meeressedimente in tektonisch vorgezeichneten Senken innerhalb der Bucht angehäuft zu haben, die durch die vorausgehende Verkarstung der unterlagernden Karbonatgesteine des Jura entstanden waren.

Nach dem Rückzug des Kreidemeeres infolge von Hebungsvorgängen und der Herauswölbung der Fränkischen Alb ging die Verkarstung weiter. Die bereits angelegten Senken vertieften sich und schützten die nachsackenden Sedimentmassen vor der Abtragung.

### Lagerstätten und geologischer Aufbau

Das Verbreitungsgebiet der Neuburger Kieselerde erstreckt sich zwischen Neuburg a. d. Donau und Wellheim in Nord-Süd-Richtung, wie auch in Ost-West-Richtung, über jeweils rund 12 km. Die Kieselerde füllt kessel- oder wanenförmige Vertiefungen, aber auch grabenartige Einbrüche des Oberen Weißen Jura aus. Es handelt sich um ein kreidezeitliches Meeressediment, das vergesellschaftet mit Tonen, Sanden, Sandsteinen und Quarziten vorkommt. Die Ausdehnung der einzelnen Lagerstätten kann etwa zwischen 100 und 300 m liegen, bei einer Tiefe von durchschnittlich 60 m. Die Mächtigkeit der Kieselerdelager erreicht in besonders günstigen Fällen einige zehn Meter.

Im Laufe einer langen Abbaugeschichte ist eine ganze Reihe von Kieselerdelagerstätten ausgebeutet worden. Westlich von Neuburg liegen südlich der Donau die heute aufgelassenen Gruben Alte Klause, Beutelrockacker, Beutmühle, Kreut-Gruppe, Höfelhof, Siedlung Oberhausen, Flachsberg und Kaiserburg. Nördlich der Donau sind folgende Vorkommen bzw. Lagersätten zu nennen: Grube Ried, Weingarten und „Kieselweiß“-Gruppe (zwischen Bittenbrunn und Riedensheim), Pfaffengrund (1,5 km nordwestlich von Bittenbrunn), Kreuzgründe (Hainberg-Gebiet), Tagebau Hütting (2 km südsüdöstlich von Hütting), Grube Bergen (1,5 km nordwestlich von Bergen), Giglberger Gruppe (nördlich von Hütting), Feldmühle (nordöstlich von Hütting), Kreuzberg-Gruppe und Wellheimer Gruppe (südwestlich und westlich von Wellheim), Vorkommen bei Gammersfeld und im Bisenharder Forst.

Einblick in den geologischen Aufbau einer Kieselerdelagerstätte geben Schnitte durch eine bereits ausgebeutete Grube südwestlich von Neuburg, bei Kreut (s. Abb. 1).

Eine besonders tief in den Malmkalk eingesenkte Lagerstätte wurde in der Waldabteilung Kreuzgründe, nahe dem Hainberg, ausgebeutet (s. Abb. 2). Dort befand sich im Hangenden der Kieselerde eine mächtige Feinsandlinse. Die Kieselerde enthielt, wie auch bei den übrigen Lagerstätten, Verkieselungen (Gaisite).

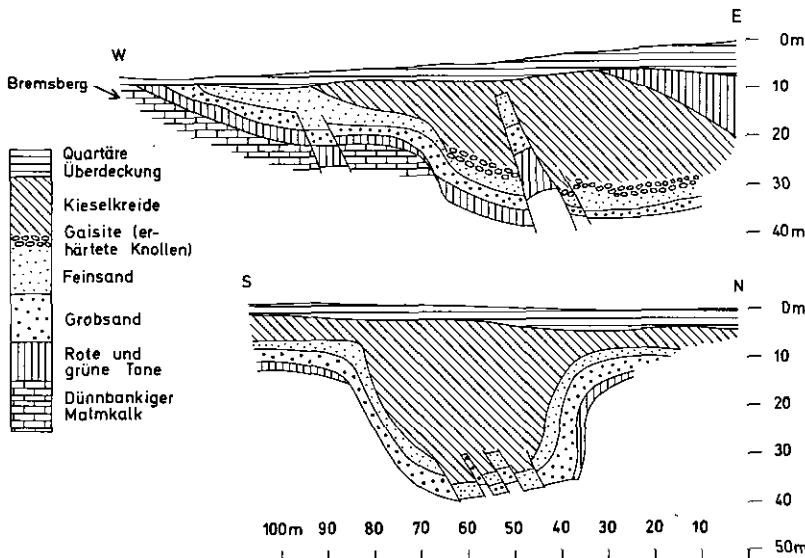


Abb. 1. Geologische Schnitte durch eine inzwischen ausgebeutete Kieselkreide-Lagerstätte bei Kreut (etwa 250 m nordöstlich des Friedhofs), von Verwerfungen durchzogen. – Nach SCHNEIDER (1933).

### Hydrogeologische Verhältnisse

Durch die Füllung der Karstsenken mit Lockersedimenten, die allerdings teilweise wieder verfestigt worden sind, haben sich in diesen Karstfüllungen eigene Grundwasserverhältnisse entwickelt. Eine Tonschicht an der Basis kann die Lagerstätte mehr oder weniger gut gegenüber den verkarsteten Juragesteinen abdichten. Liegt die Lagerstätte oberhalb des Karstwasserspiegels, so reicht das Einzugsgebiet für den Wasserzulauf meist nicht weit. Lockere Sande an der Basis der Kieselerde oder im Hangenden fungieren als Wasserleiter. Die Entwässerung einer Grube stellt in einem solchen Fall kein großes Problem dar. Werden jedoch tiefreichende Lagerstätten aufgeschlossen, so kann das Karstwasser an Auflockerungszonen der Jurakalke und Lücken in der basalen oder seitlichen Tonschicht zufließen, wodurch der Abbau erschwert wird.

### Beschaffenheit der Kieselerde

Die Neuburger Kieselerde stellt ein weißes bis gelbliches, äußerst feinkörniges, lockeres Gestein dar und ist ein Gemisch aus Quarz + organischer Kieseläure und Kaolinit im Verhältnis 4:1 bis 6:1. Nebengemengteile wie  $Fe_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$  und  $Na_2O$  treten in sehr geringen Gehalten auf. Der mittlere Durchmesser der Korngrößen liegt um 0,06 mm, kann aber zwischen 0,04 mm und 2 mm schwanken. Die Feinsandfraktionen 0,060–0,090 mm und 0,090–0,120 mm bestehen aus kieseligen Skelettelementen von Meeresschwämmen, aus Quarz und Quarzit. In der Fraktion des Schluffes (0,002–0,060 mm) bilden Schwammreste die Hauptmasse. Die Tonfraktion wird im wesentlichen aus Quarz und Kaolinit aufgebaut. Elektronenoptisch lässt sich feststellen, daß der Quarz bis unter 0,0001 mm Durchmesser in rundlichen Körnern vorliegt und mit Kaolinitblättchen ein lockeres Haufwerk bildet.

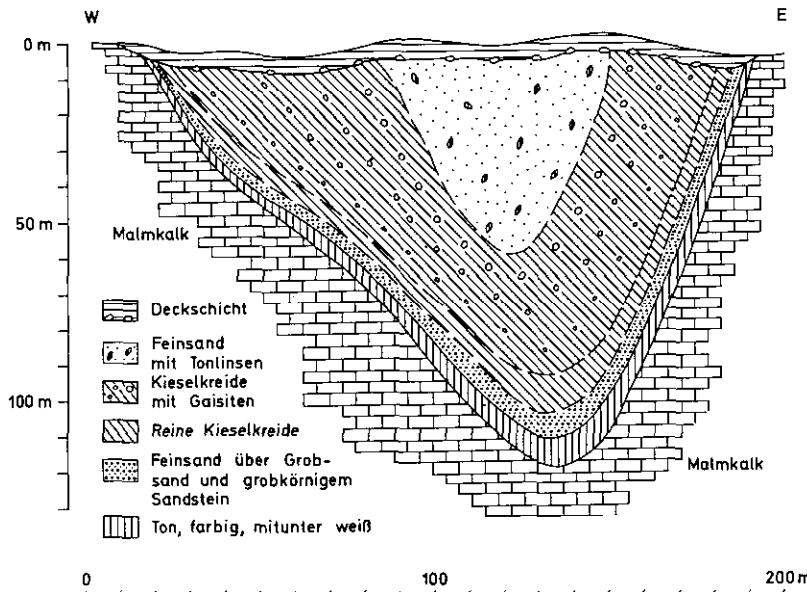


Abb. 2. Schematischer Aufbau der Kieselkreide-Lagerstätte Kreuzgründe. – Nach KEMPCKE (1958).

Das sperrige Gefüge der Kieselerde bedingt ihre große spezifische Oberfläche. Die kieseligen und tonigen Bestandteile bewirken die Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und verdünnte Laugen. Der hohe Anteil an Quarz und organischer Kieselzsäure sind für die große mechanische Widerstandsfähigkeit im Feinbereich verantwortlich.

### Prospektion- und Gewinnungstechnik

Die Firma Hoffmann & Söhne führt mit einem eigenen Bohrgerät Erkundungsbohrungen in weiten Gebieten durch, wo Lagerstätten vermutet werden. Durch diese Prospektionsarbeiten sind schon bedeutende Reserven nachgewiesen worden, die bis ins nächste Jahrhundert reichen. Zur Gewinnung der Kieselerde werden zunächst die oft mächtigen Deckschichten abgeräumt. Dann schreitet der Abbau auf einzelnen Sohlen in die Tiefe. Schmale und tief hinabreichende Kieselerdemulden erfordern steile Abbautrichter, die jedoch nur bei standsicheren Böschungen möglich sind. Heute sind dabei Tieflöffelbagger im Einsatz. Den Abbau in einer Kieseldegrube zeigt das Foto 1 auf Tafel 6.

Die Rohförderung an Kieselerde für den gesamten Abbaubereich im Zeitraum 1913–1986 lässt sich aus Abbildung 3 ablesen. Im Jahre 1986 betrug die Förderung 104 624 t. Das Rohmaterial wird mit Muldenfahrzeugen zur Verarbeitung nach Neuburg gebracht. Abraum und Sieb- und Schlämmerückstände dienen der Wiederauffüllung ausgebeuteter Gruben. Die Rekultivierungsmaßnahmen der Firma, z. B. im Raum Wellheim, sind anerkennenswert.

### Aufbereitung

Die Kieselerde wird im Neuburger Werk über ein empfindliches, besonders trennscharfes Naßaufbereitungsverfahren durch Hydrozyklone in Schläm-

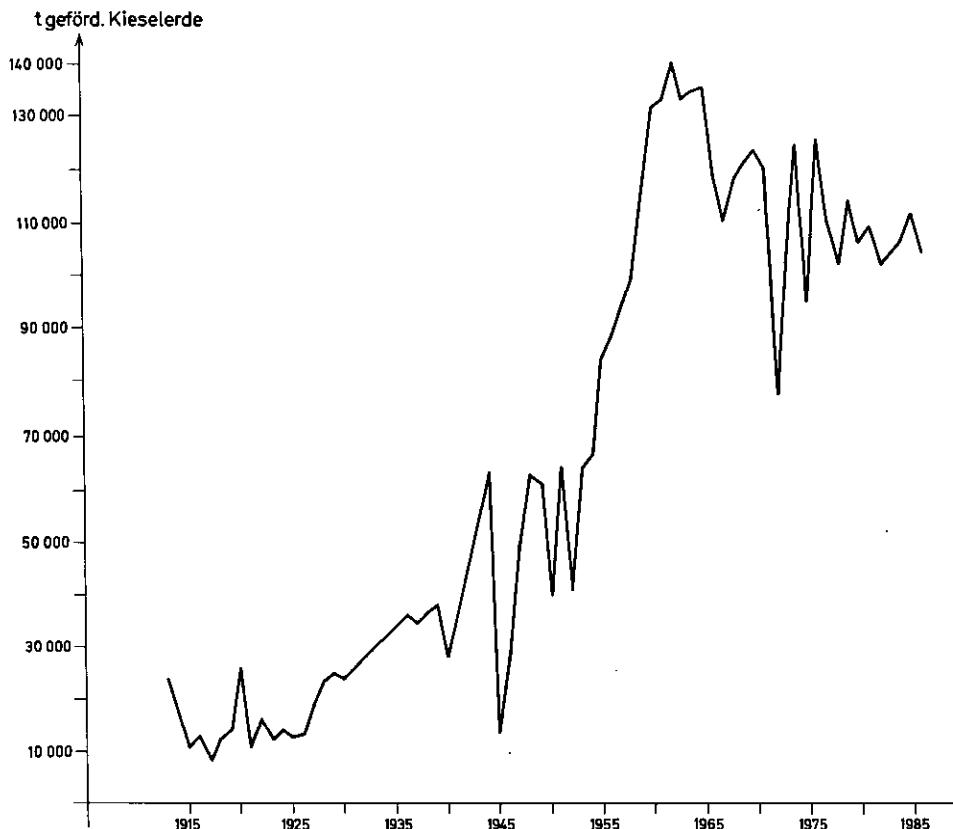


Abb. 3. Rohförderung von Neuburger Kieselerde im Zeitraum 1913–1986.

produkte zerlegt, die in großer Reinheit herzustellen sind. Sorgsame Trocknungsprozesse schließen sich an. Die Endprodukte weisen größte Reinheit, Feinheit und Gleichmäßigkeit auf. Im Jahre 1986 betrug die Erzeugung des Neuburger Werkes an aufbereiteter Kieselerde 41 651 t.

### Eigenschaften der Kieselerde und wirtschaftliche Bedeutung

Die gereinigte und nach Korngrenzen getrennte Kieselerde ist ein weißes, mehliges Mineralgemenge ungewöhnlicher Feinheit. Die dadurch bedingte große Oberfläche sowie die große Härte des Quarzes und der kieseligen Schwammreste lassen eine vielfältige Verwendung zu. In organische und wässrige Medien lässt sich Kieselerde besonders leicht einmischen und verteilen. Durch ein günstiges spezifisches Gewicht ( $2,6 \text{ g/cm}^3$ ), hohe Säurebeständigkeit, neutrales Verhalten gegenüber Zusatzstoffen und das Fehlen schädlicher Bestandteile eignet sich Neuburger Kieselerde besonders gut als Füllstoff für Natur- und Synthesekautschuk, Latex, Kunstarzmischungen, Klebstoffe, Spachtelmassen, Farben und Lacke. Daneben wird sie als Verdünnungsmittel für

hochwirksame chemische Substanzen verwendet. Die feinverteilte Quarz- und Kieselsäurekomponente bedingt ihre Eignung als Beimischung in keramischen Massen und Elektrodenumhüllungen. Die Härte des Quarzes wird in Putz- und Schleifmitteln genutzt. Derzeit gehen 45% der Erzeugung in den Export.

## Literatur

- BAYERISCHES OBERBERGAMT [Hrsg.] (1936): Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns. II. Bd.: Franken, Oberpfalz und Schwaben nördlich der Donau. – 512 S., München (Oldenbourg und Pilony & Loeble).
- KEMPCKE, E. (1958): Ein Beitrag zur Genese der Neuburger Kieselerde und ihrer fossilen Fauna. – Sonderdruck aus: Keram. Z., 10 (9, 10, 11): 10 S., Lübeck.
- SCHNEIDER M. (1933): Die Kieselerde von Neuburg a. d. D. und ihre Industrie. – 94 S., München (Mößl & Voglrieder).
- STREIT, R. (1971): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7232 Burgheim Nord. – 222 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. – Geologica Bavaria, 86: 563 S., München.

## Spezialquarz und Quarzsande

Von ULRICH LAGALLY

Mit 4 Abbildungen, 1 Tabelle und 1 Foto

Quarz, nach Feldspat das häufigste Mineral in der Erdkruste, ist an der Bildung vieler Sediment- und Eruptivgesteine sowie von kristallinen Schiefern beteiligt; für eine industrielle Verwertung ist jedoch nur Material geeignet, das hohen Anforderungen an Reinheit, Kornverwachsung, Korngröße usw. genügt.

Reinster, kristalliner Quarz vorwiegend aus Pegmatitstücken wurde in Bayern schon im 14. Jahrhundert als Rohstoff für die Glasherstellung gewonnen. Im Laufe der Zeit machten gestiegene Qualitätsanforderungen und die Erschöpfung der bekannten Vorkommen die Suche nach neuen Lagerstätten notwendig. Dabei wurden im Verbreitungsgebiet des Dogger  $\beta$  Areale gefunden, die besonders feine und gleichkörnige Quarzsande enthalten. Diese bilden heute die Hauptmasse der Glasrohstoffe. Ihre unreinen Nebengesteine finden Verwendung als Gießereisande sowie Füll- und Baustoffe.

Im folgenden werden nur die dem Bergrecht unterstehenden Abbaue jurassischer Quarzsande abgehandelt. Andere Quarzsande, wie z. B. die quartären

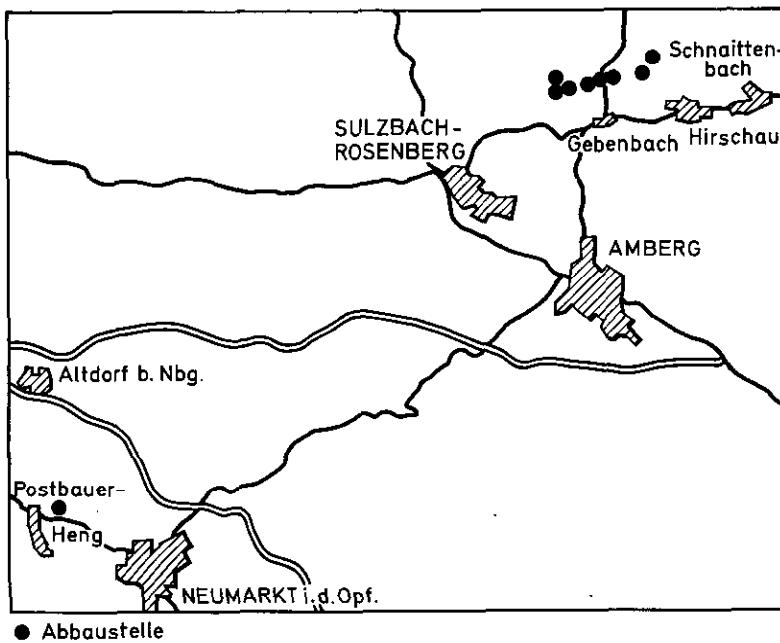


Abb. 1: Abbaustellen (unter Bergaufsicht) von Quarzsanden des Dogger  $\beta$  in der mittleren Oberpfalz.

Flußsande im Maintal, in der Bodenwöhre Bucht und im Regnitzgebiet, die Flug- und Decksande, aber auch lockere Partien des Burg- und Rhätsandsteins, sind meist verunreinigt und deshalb weitestgehend nur als Baurohstoffe verwendbar. Daher sollen diese Vorkommen – obwohl vereinzelt der Bergaufsicht unterliegend – hier nicht näher betrachtet werden. Eine ausführliche Würdigung haben sie erst kürzlich bei WEINIG et al. (1984) erfahren. Die kristallinen Quarze des Grundgebirges werden im Kapitel „Quarz“ beschrieben. Die Lagerstätten der bei der Kaolin- und Feldspatgewinnung beibehrenden Quarzsande sind hier zwar mit angesprochen, für eine genauere Darstellung sei aber auf die Kapitel „Kaolin“ und „Feldspat“ verwiesen.

Sande des Dogger  $\beta$  sind in Bayern fast ausschließlich nördlich der Donau aufgeschlossen. Gewinnungsbetriebe befinden sich in der Oberpfalz im Bereich der Vilsecker Senke zwischen Hirschau, Freihung und Vilseck und am Westabhang der Frankenalb bei Neumarkt (Abb. 1).

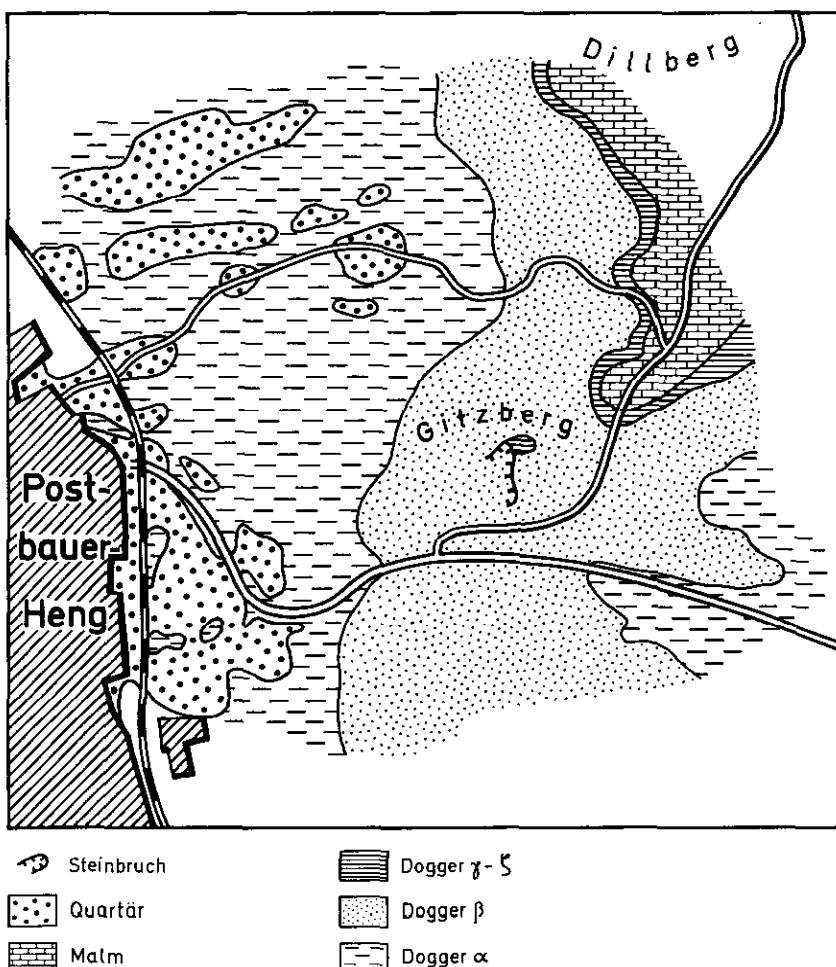


Abb. 2: Lage und geologischer Rahmen der Quarzsandgrube am Gitzberg bei Postbauer. – Geologie aus SCHMIDT-KALER (1974).

## Unternehmen

Die Firma Adler betreibt in der Nähe von Neumarkt/Opf. bei Postbauer seit 1938 eine Gewinnungsstelle im Dogger  $\beta$ -Sandstein (Abb. 2). Das Rohmaterial wird in der Grube aufbereitet, das Produkt auf der Straße zum Verbraucher transportiert.

Die Firmen Asmanit- und Farbenwerke Dorfner & Co. (Sitz in Hirschau) und J. W. Strobel (Sitz in Freihüngsand) bauen lose bis mürbe Sande des Dogger  $\beta$  im Raum Kainsricht–Ehenfeld ab (Abb. 3). Das Grubenmaterial wird auf der Straße zu den Aufbereitungsanlagen in Hirschau bzw. Freihüngsand gebracht und veredelt.

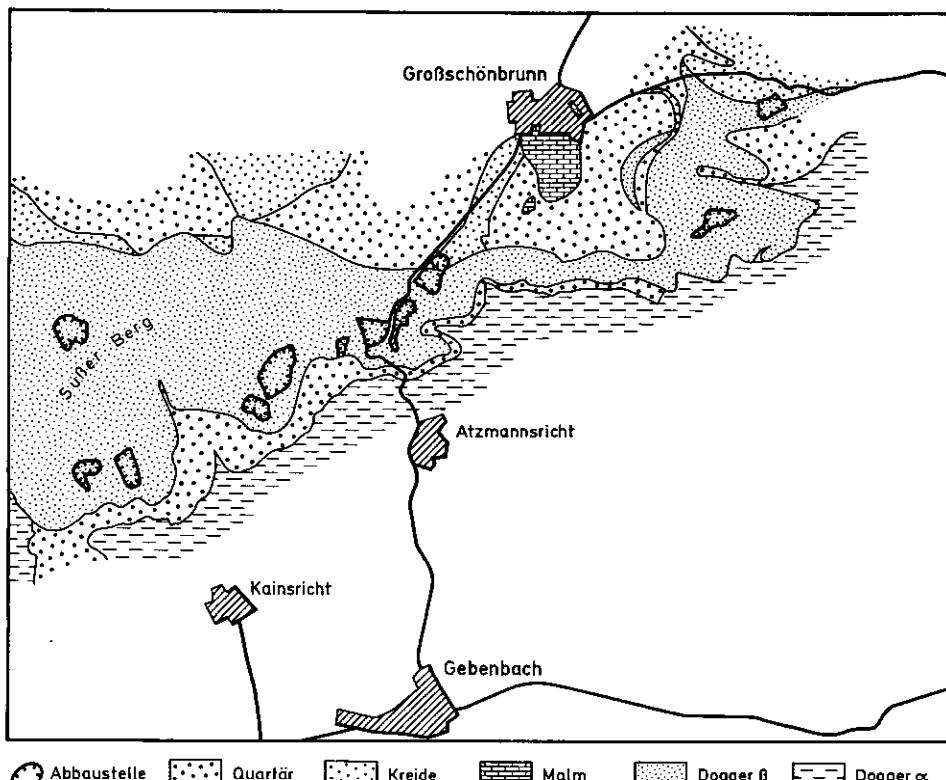


Abb. 3: Lage und geologischer Rahmen der Quarzsandgruben nördlich von Gebenbach. – Geologie aus BAUBERGER et al. (1960).

Die Gründung der Fa. Gebr. Dorfner OHG (Muttergesellschaft der Asmanit- und Farbenwerke Dorfner & Co.) erfolgte 1895 mit der Zielsetzung der Kaolingewinnung und -aufbereitung bei Hirschau. 1951 wurde bei Atzmannsricht die erste Quarzsandgrube eröffnet, nachdem die Dogger  $\beta$ -Sande als für die Hohglaserzeugung geeignet erkannt worden waren (ECKERT 1983). Derzeit wird an fünf verschiedenen Stellen abgebaut.

Die Fa. Strobel begann 1872 nordwestlich der heutigen Betriebseinrichtungen mit der Gewinnung von Dogger  $\beta$ -Sanden, die dort in einem schmalen Streifen

fen aufgeschlossen sind. Bis 1955 wurde das Quarzsandwerk vom betriebsnahen „Sandberg“ versorgt. Zur Verbesserung der Vorratslage begann man 1955 ein neues Abbaugebiet südlich von Großschönbrunn zu erschließen. Heute wird Rohmaterial aus insgesamt sechs Gruben zwischen Kainsricht und Ehenfeld bezogen.

*Tabelle 1: Eckdaten*

Unternehmen	Förderung 1986	Rohmaterial	Produkt	Bergbau	Belegschaft
Lorenz Adler, Nürnberg	6 000 t	Quarzsand (-stein)	Formsand Zuschlagstoffe	1	2
Asmanit- u. Farbenwerke	120 000 t	Quarzsand	Glassand Formsand Füllstoffe Schleifmittel Strahlsand Zuschlagstoffe	5	16
Dorfner & Co., Hirschau					
Quarzsandwerk J. W. Strobel, Freihungsand	170 000 t	Quarzsand	Glassand Formsand Zuschlagstoffe	6	30

In den folgenden, der Bergaufsicht unterliegenden Betrieben fallen Quarzsande, z. T. in erheblichen Mengen, bei der Gewinnung von Kaolin oder Feldspatsanden an:

Amberger Kaolinwerke GmbH / Hirschau (Kap. Kaolin)  
Eduard Kick GmbH & Co. / Schnaittenbach (Kap. Kaolin)  
Freihunger Kaolin- und Feldspatwerk / Freihung (Kap. Kaolin)  
Gebr. Dorfner OHG / Hirschau (Kap. Kaolin)  
Quarzsandwerke Burgstall / Kronach (Kap. Feldspat)  
Quarzsandwerk J. Hebtantz / Neustadt (Kap. Feldspat)  
Sand- und Kaolinwerk Inzelsberger / Creussen (Kap. Kaolin)

Obwohl die Quarzsande meist nur Nebenprodukte darstellen, sind sie aus wirtschaftlicher Sicht oft mit den Hauptzeugnissen gleichbedeutend. Die Beschreibung der Abbaustellen erfolgt in den in Klammern aufgeführten Kapiteln.

### Geographische Lage

Sämtliche hier eingehender behandelten Gewinnungsstellen von Quarzsanden liegen in der mittleren Oberpfalz im Raum Hirschau-Neumarkt. Die zuständige Bergbehörde befindet sich in Amberg; sie ist von den einzelnen Betriebsorten 15 bis 40 km entfernt.

Die Mehrzahl der von der Fa. Asmanit- und Farbenwerke Dorfner und Fa. Strobel betriebenen Gruben sind an der Südflanke eines aus Doggersandstein gebildeten Höhenrückens nördlich von Gebenbach angelegt. Sie liegen im Bereich der Gemeinden Gebenbach, Großschönbrunn und Hirschau im Landkreis Amberg-Sulzbach.

Die Firma Adler betreibt eine Abbaustelle auf der Westseite der Frankenalb am Gitzberg bei Postbauer. Die Grube liegt nahe der Grenze des Landkreises Neumarkt/Opf. und ist von Nürnberg ca. 25 km entfernt.

## Geologische und hydrogeologische Situation

Die abgebauten Quarzsande treten nur im Dogger  $\beta$  auf. Er stellt im allgemeinen eine Abfolge von fein- bis mittelkörnigen, mehr oder weniger festen Sandsteinen mit tonigem, kalkigem oder limonitischem Bindemittel und Tonsteinen, Limonitlagen und Roteisenerzflözen dar. Bindemittelarme Partien zerfallen leicht zu losen Sanden. Gelbbraune bis braunrote Farbtöne überwiegen, doch tritt stellenweise eine graue bis weiße Spielart auf. Eine gelegentliche Zunahme des Eisenanteiles – im tonigen Bindemittel wie auch als Eisenooide – führte zur Bezeichnung „Eisensandstein“. In manchen Bereichen rings um die Frankenalb steigt der Eisengehalt bis auf ca. 40% an, was in der Vergangenheit zu zahlreichen Abbauvorhaben geführt hat. Das wohl bedeutendste Vorkommen dieser Art befindet sich bei Pegnitz, wo bis 1967 ca. 10 Mio. t Erz abgebaut wurden (SCHMID & WEINELT 1978).

Der Doggersandstein erreicht eine Gesamtmächtigkeit von mehr als 100 m. Vor allem in der Oberpfalz schwankt die Mächtigkeit der Schichtfolge jedoch erheblich; sie variiert zwischen 45 m und 120 m. Die Flachmeersedimente wurden in einem reich gegliederten Becken abgelagert und bezogen ihren Detritus aus dem intensiv verwitterten Festland der Böhmischem Masse, vielleicht auch aus dem Baltischen Schild (MEYER & SCHMIDT-KALER 1981).

Eine einheitliche Ausbildung des Dogger  $\beta$  über sein gesamtes nordbayerisches Verbreitungsgebiet ist nicht feststellbar. Für den Bereich der südlichen Frankenalb hat HÖRAUF (1959) eine Gliederung aufgestellt, die – zwar mit lokalen Sonderentwicklungen – im gesamten Gebiet Gültigkeit besitzt.

Über dem Dogger  $\alpha$  liegen Glimmersandsteine im Wechsel mit Tonen. Auf sie folgen feinkörnige, meist kompakte Sandsteine (Hauptwerksandstein), die mit einem schwachen Flöz (Krickelsdorfer Horizont) abschließen. Weitere Sandsteine, auch Tonsteine und Ton-Sand-Gemenge bilden die Liegendschichten des Hauptflözhorizontes. Diese regional deutlich ausgebildete, bis zu 4 m mächtige Schicht aus Eisenoolithen mit sandig-tonigem Bindemittel leitet über zu einem weiteren Sandsteinkomplex (Felssandstein), dem neben einigen schwachen Flözen auch eisenreiche Sandsteine und Kalksandstein eingeschaltet sind. Blaugraue bis gelbbraune, z. T. sandig-schluffige Tone und Ton-Sand-Gemenge bilden den Disciteston-Horizont, das jüngste und zugleich beständigste Schichtglied des Dogger  $\beta$ .

Die Mächtigkeit des gesamten Schichtpaketes ist ebenso wie die einzelner Schichtglieder sehr uneinheitlich. Im Raum der Vilsecker Senke werden für den Dogger  $\beta$  insgesamt 70–75 m (BAUBERGER et al. 1960), am Gitzberg 60–70 m (SCHMIDT-KALER 1974) angegeben.

Die überwiegend sandige Serie ist ein ausgezeichneter Grundwasserleiter, einzelne Toneinschaltungen können lokal jedoch Stauhorizonte bilden. Der bedeutendste Quellhorizont unterhalb des Discitestones liegt an der Grenze Opaliston/Doggersandstein. Hier finden sich häufig Quellaustritte, die Schüttungen bis zu 12 l/s aufweisen (BAUBERGER et al. 1960, SCHMIDT-KALER 1974).

## Lagerstätten und Rohmaterial

Die Quarzsandgewinnung im Bereich nördlich von Gebenbach konzentriert sich auf die über den Glimmersandsteinen liegenden sandigen Partien, die im Niveau des Hauptwerksandsteines liegen (Abb. 4). Dabei handelt es sich um blaßgelbe bis blaßrosa, meist aber weiße Sande mit geringer Kornbindung und einer Mächtigkeit von durchschnittlich 20 m; nach Norden können sie vereinzelt bis auf 40 m zunehmen.

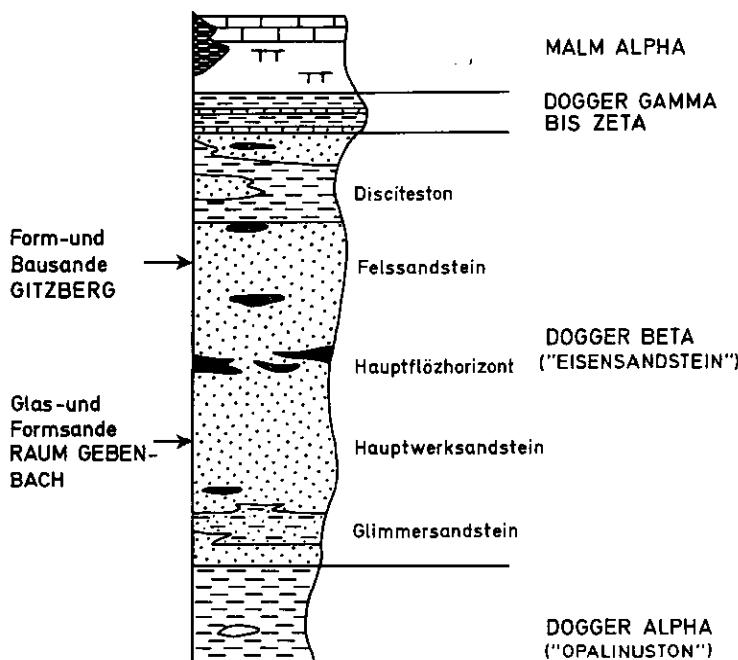


Abb. 4: Schematisches Profil des mittleren Jura in der südlichen Frankenalb. – Ergänzt nach SCHMIDT-KALER (1974).

Generell ist innerhalb der Lagerstätten eine Korngrößenzunahme zum Hangenden hin zu beobachten. Während in den unteren Abbauhorizonten meist mehr als 80% des Materials im Bereich zwischen 0,1 mm und 0,2 mm liegen, ist das Kornspektrum in den höheren Partien sehr viel weiter gestreut; dort entfallen auf diesen Bereich nur 40–50%. In der Regel handelt es sich um gut bis streng sortierte, schwach schluffige, schwach mittelsandige Feinsande (WEINIG 1984).

Von besonderem Interesse ist die helle bis weiße Spielart der Sande, die bisher nur in den Randbereichen der Vilsecker Kreidemulde beobachtet wurde. Sie ist sehr uneinheitlich ausgebildet und auf engstem Raum sowohl in der Horizontalen wie Vertikalen einem schnellen Wechsel unterworfen. Über die Ursachen dieser Sonderentwicklung liegen genaue Erkenntnisse bisher noch nicht vor. Allgemein wird die Lösung und Verfrachtung des primär enthaltenen Eisens, evtl. im Zusammenhang mit der präcenomanen Erosion, angenommen (GUDDEN 1984).

Die weißen Sande haben im Durchschnitt folgende chemische Zusammensetzung:

$\text{SiO}_2$ : 95–98%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 1,5–2,5%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 0,1–0,25%;  $\text{TiO}_2$ : 0,1–0,35%.

Im Vergleich dazu weisen die „normalen“ gelbbraunen Doggersande, wie z. B. am Gitzberg, 93%  $\text{SiO}_2$ , 1%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und 3%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  auf.

Die hellen bis blaßrosa sog. „Glassande“ bestehen fast ausschließlich aus detritischem Quarz; geringe Mengen an Hellglimmern finden sich vorwiegend in den liegenden Partien. Schwerminerale wie Zirkon, Turmalin, Rutil, Monazit und Staurolith scheinen innerhalb des gesamten Schichtstoßes diffus verteilt zu sein.

Am Gitzberg bei Postbauer geht der Sandabbau in einem höheren Niveau des Dogger  $\beta$  um (Abb. 4). Ziel ist dort der Felssandstein. Dabei handelt es sich um die normale Ausbildung von gelbbrauner Farbe und gutem Sortierungsgrad. Mehr als 90% der Kornfraktion streuen zwischen 0,06 mm und 0,3 mm; der Eisengehalt liegt bei 3%, das Bindemittel ist teils kalkig, teils tonig. Der in Abbau stehende Horizont ist in einer Mächtigkeit von 14 m aufgeschlossen. Unter der Grubensohle, die etwa dem Hauptflözhorizont entspricht, liegen noch ca. 40 m mächtige Dogger-Sandsteine (MEYER & SCHMIDT-KALER 1984).

Der bei der Kaolingewinnung im Hirschau-Schnaittenbacher Revier mitgewonnene Quarzsand der Schichten des Mittleren Buntsandsteines beträgt im allgemeinen zwischen 70% und 75% der Roherde. Das Grubenmaterial ist aufgrund des hohen Kaolin- und Feldspatgehaltes weiß bis blaßgelb. Die Kornverteilung streut stark, ein deutliches Maximum findet sich jedoch im Bereich zwischen 0,6 mm und 2 mm (siehe auch Kapitel Kaolin).

### Gewinnungstechnik, Aufbereitung und Verwendung

Die losen bis wenig verfestigten Sande des Dogger  $\beta$  nördlich von Gebenbach können aufgrund der geringen Kornbindung meist ohne aufwendige Abbauverfahren gewonnen werden. In der Regel wird das Material mit Radladern abgetragen, nur in der Grube Frohnhof muß der Kornverband stellenweise durch wenige Sprengungen gelockert werden. Dasselbe gilt für Bereiche des Mittleren Buntsandsteins bei Hirschau-Schnaittenbach, bevor eine Abtragung mit Radladern, Löffel- und Schaufelradbaggern erfolgen kann. Am Gitzberg sind die Sande so stark verfestigt, daß regelmäßige Sprengungen notwendig sind, um die Sandsteine zu lösen. Der Transport zu den grubennahen Aufbereitungsanlagen (Bereich Hirschau-Schnaittenbach, Gitzberg) erfolgt mit Radladern, Lastkraftwagen oder Förderbändern. Die von den Dogger  $\beta$ -Gruben weiter entfernten Verarbeitungsbetriebe (Freihungsand, Hirschau) werden mit Großraumkipfern beliefert.

Aufgrund ihrer großen Reinheit, vor allem aber wegen des geringen Eisengehaltes und des sehr guten Sortierungsgrades eignen sich die Sande des tieferen Dogger  $\beta$  als Rohstoffe für die glaserzeugende Industrie. Je nach Eisengehalt werden sie zur Herstellung von Flach-, Float-, Weißhohl-, Kristallglas (Bleikri-

stallglas), aber auch für optische Gläser verwendet. Der Bereich Hirschau-Gebenbach liefert mehr als 90% des Rohmaterials für die Bleiglasherstellung im süddeutschen Raum (WEINIG 1984). Stärker verunreinigte, vor allem eisenreichere Partien finden vielfältige Einsatzmöglichkeiten in Gießereien sowie in der keramischen, bauchemischen und pharmazeutischen Industrie. Sie dienen als Form- und Kernsand, Füllstoffe, Schleifmittel, Strahlsand, zur Wasserreinigung etc. Die Hauptabnehmer sind im bayerischen Raum ansässig, doch werden die Rohstoffe auch – vorzugsweise in den südosteuropäischen Raum – exportiert.

Die Glas- und Formsande werden in den seit 1952 betriebenen Gruben selektiv gewonnen bei Abbauhöhen von 24 m und Abraummächtigkeiten bis zu 16 m. Probleme mit Grundwasser ergeben sich im allgemeinen nicht, da zwischen Grubensohle und Stauhorizont im Regelfall noch eine Sandsteinlage von 10 m bis 15 m liegt. Die Vorratssituation ist aufgrund des schnellen räumlichen Wechsels von eisenführenden und eisenarmen Sanden von Grube zu Grube verschieden. Genauere Prognosen über das grundsätzlich sehr gute Lagerstättenpotential des Gebietes lassen sich jedoch nur nach detaillierten Untersuchungen machen.

Mit Ausnahme der Verwendung als Glasrohstoffe werden die Dogger  $\beta$ -Sande meist nur gewaschen und nach der Korngröße sortiert; bei Bedarf durchlaufen einzelne Fraktionen auch einen Trocknungsprozess.

Die Glassande werden nach der Wäsche einem Attritionsverfahren unterzogen, bei dem die den Quarzkörnern anhaftende Eisenoxidhaut abgerieben wird. In einem nachfolgenden Flotationsgang werden die störenden Bestandteile entfernt. Für die Glasherstellung ist ein Produkt erwünscht, bei dem mindestens 80% eine Korngröße  $> 0,1$  mm besitzen, jedoch ein Korndurchmesser von 0,25 mm nicht überschritten wird.

Die Dogger  $\beta$ -Sande am Gitzberg eignen sich aufgrund ihres relativ engen Kornspektrums für den Einsatz in der Gießereiindustrie sowie zur Herstellung hochwertiger Produkte auf dem Bausektor. Das aufbereitete Produkt wird als Feinstzuschlag für wasserdichten Beton und Pumpbeton (ca. 25%) sowie als Form- und Kernsand in Gießereien (ca. 5%) verwendet; der Hauptanteil (ca. 70%) jedoch geht neuerdings als Zuschlagstoff in die Dachziegelfabrikation. Die Hauptabnehmer sind im nord- und nordostbayerischen Raum (Ober- und Unterfranken) angesiedelt.

Nach dem Sprengen und der Zerkleinerung großer Blöcke wird das Grubenmaterial auf eine Siebanlage aufgegeben (grobes Rüttelsieb, Feinsieb 0,2 mm). Ca. 25% des Materials erreicht die gewünschte Korngröße. In einem zweiten Siebgang werden nochmals 50% der Grobfraktion unter 0,2 mm zerkleinert. Der Rest ist nicht verwendbar und wird verkippt.

Die seit 1938 betriebene Gewinnungsstelle der Fa. Adler hat eine Wandhöhe von 14 m; darüber liegen 6 m bis 8 m Disciteston und weitere unbrauchbare Schichten des oberen Dogger. Der Abbau erfolgt ohne Aufschluß des Grundwassers. Die Vorratslage ist gut, da sowohl bergwärts wie zur Teufe hin noch weitere Sandsteine ähnlicher Qualität nachgewiesen sind.

Die bei der Kaolingewinnung im Hirschau-Schnaittenbacher Revier gewonnenen Quarzsande (Amberger Kaolinwerke GmbH, Gebr. Dorfner OHG, Eduard Kick GmbH & Co.) werden größtenteils bereits im ersten Waschgang abgetrennt und über verschiedene Hydrosizer in die gewünschten Fraktionen sortiert. Noch im Aufbereitungsprozess verbleibender Quarzsand wird entweder elektrostatisch abgeschieden oder in Hydrozyklenen separiert und abgeföhrt.

Die Quarzfaktion ist in der Regel eisenarm, so daß sie nach ihrer chemischen Zusammensetzung für die Herstellung von Spezialgläsern u. ä. verwendet werden kann. Nach dem zur Verringerung der Korngröße notwendigen Mahlprozess wirken sich jedoch hohe Anteile an Quarzmehl, die bereits vor dem Schmelzvorgang agglomerieren und damit eine Verklumpung der Schmelze bewirken können, störend aus.

Gröbere Sorten von Quarzsanden finden in der Bauchemie, im Hoch- und Tiefbau sowie als Füll- und Zuschlagstoffe Verwendung, jedoch ist ein großer Teil nicht absetzbar und wird daher verkippt (z. B. Monte Kaolino in Hirschau).

**Dank:** Für die großzügige Überlassung von firmeneigenen Daten und Dokumentationsmaterial sowie für wertvolle Anregungen und Diskussionen sei den Firmen Adler/Nürnberg, Amberger Kaolinwerke sowie Asmanit und Farbenwerke Dorfner/Hirschau, Kick/Schnaittenbach und Strobel/Freihungsand herzlich gedankt.

## Literatur

- BAUBERGER, W., HAUNSCHILD, H., SCHNEIDER, E. F. & TILLMANN, H. (1960): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6437 Hirschau. – 138 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- ECKERT, F. (1983): Nutzbare Ablagerungen. – In: BATZL, H. [Hrsg.]: Geschichte der Gemeinde Gebenbach. – 423 S., Amberg.
- GUDDEN, H. (1984): Zur Entstehung der nordostbayerischen Kreide – Eisenlagerstätten. – Geol. Jb., D 66: 3–49, Hannover.
- HÖRAUF, H. (1959): Zur Stratigraphie und Paläogeographie des Doggersandsteins in der Fränkischen Alb. – Erlanger geol. Abh., 30, Erlangen.
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (1981): Dogger. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. – 3. Aufl.: 58, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- (1984): Erdgeschichte sichtbar gemacht – Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb. – 2. Aufl.: 260 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHMID, H. & WEINELT, W. (1978): Lagerstätten in Bayern. – Geologica Bavarica, 77: 160 S., München.
- SCHMIDT-KALER, H. (1974): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6634 Altdorf. – 152 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WEINIG, H. (1984): Sande des Doggers (803). – Geologica Bavarica, 86: 291–292, München.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern – Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden. – Geologica Bavarica, 86: 563 S., München.



## Speckstein und Talk

Von WINFRIED WEINELT

Mit 5 Abbildungen, 3 Tabellen und 1 Foto

Der Speckstein, im Volksmund auch Schmärstein oder Schaberstein genannt, fand im Mittelalter seine erste technische Verwendung als Flintenkugeln. Dieser Fabrikationszweig war aber nur von kurzer Dauer und bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts wurde der Rohstoff Talk nur in geringem Umfang eingesetzt. Man verwendete ihn als Federweiß, Puder, Schneiderkreide, als Füllstoff in der Papier- und Seifenindustrie sowie als Schmiermittel oder man fertigte aus ihm einfache Gebrauchsgegenstände.

So beschreibt JAKOB (1984) zwei Funde von aus Speckstein gefertigten, konisch geformten und mit Ringrillen verzierten Spinnwirten vom Castrum Helfenrode, einem Turmhügel auf dem Schloßberg bei Helfenroth, Gemeinde Mürsbach, an der Itz und von dem Ostplateau der Giechburg bei Scheßlitz. Die Datierung der Begleitkeramik reicht von der 2. Hälfte des 10. Jahrhunderts bis zum Ende des 14. Jahrhunderts. Aufgrund der Formgebung wird für die Verwendung des Specksteins das 12. Jahrhundert angenommen.

Aus dem 18. Jahrhundert liegen eine ganze Reihe von Angaben über den Abbau von Speckstein zwischen Göpfersgrün und Thiersheim vor. Als die Specksteingruben im Fichtelgebirge im Jahr 1857 aus dem Staatsbesitz in den Privatbesitz der Firma J. v. Schwarz in Nürnberg übergingen, gelang es der Initiative dieser Firma, aus dem Speckstein jenes wertvolle Werkmaterial zu prägen, das als Specksteinbrenner überall anzutreffen war. Die Verwendung des Specksteins zu Erzeugung von Gasbrennern geht auf eine Anregung J. v. LIEBIGS um 1850 zurück.

Später kamen die Johanniszeche, die Benedikt- und die Ludwigszeche in den Besitz der Firma J. v. Schwarz, die südlich der Straße nach Thiersheim gelegenen Karolinen- und Theresienzeche aus Bauerneigentum an die Firma Lauböck & Hilpert in Wunsiedel und die Emilienzeche bei Thiersheim in den Besitz der Firma Jean Stadelmann & Co. in Nürnberg. Nachdem um die Jahrhundertwende die Firma Lauböck & Hilpert von den beiden vorgenannten Firmen übernommen und weitergeführt wurde, haben sich im Jahr 1921 diese beiden Firmen mit der Steatit-AG in Berlin-Pankow zu der Steatit-Magnesia AG vereinigt, die ab dann Hauptbesitzerin der ergiebigsten Specksteinfelder war. Die Steatit-Magnesia AG (STEMAG AG), Werk Johanneszeche, welche die Specksteingrube und das Bergwerk Johanneszeche bei Göpfersgrün, Gemeinde Bernstein, betrieb, ging später an die Firma Rosenthal Technik AG Werksgruppe I, Werk 8591 Johanneszeche, und schließlich an die Firma Hoechst CeramTec Bergbau betriebe Johanneszeche, 8592 Wunsiedel, über.

Die Gräberei auf Speckstein ging anfänglich, das heißt in frühester Zeit als regelrechter Raubbau vor sich. Man grub ihn an den genannten Orten in kartoffel- bis höchstens kopfgroßen, oft nierenförmig ausgebildeten Knollen, seltener in größeren Blöcken.

Seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts aber erfolgte sowohl auf den älteren Gruben bei Göpfersgrün, die etwa 1,5 km östlich des Dorfes zu beiden Seiten der Straße nach Thiersheim lagen, als auch in den damals neueren, um Thiersheim gelegenen Gruben eine bergmännische Gewinnung bis zu 10 m und 50 m Teufe.

*Tabelle 1: Eckdaten*

Unternehmen	Förderung 1986 in t		Bergbau- produkte	Bergbau- betriebe	Beleg- schaft
	Rohförderung	Aufbereitetes absatzfähiges Gut			
Hoechst CeramTec			keramischer		
Bergbaubetrieb			Speckstein		
Johanneszeche			Talkschiefer		
8592 Wunsiedel 1			Talkum		
Scheruhn			Roh-		
Talkum-Bergbau			Speckstein		
GmbH & Co.			Talkschiefer		
8670 Hof a. d. S. 1			Talkum		
Werk Schwarzen- bach a. d. Saale			Grünstein		
Marmorkalkwerk			Talkum		
Troesch KG					
Holenbrunn					
8592 Wunsiedel					
Talkumbergwerk					
Tagebau					
	insgesamt 29 000	insgesamt 23 000		insgesamt 3	insgesamt 56

### Unternehmen

Die Lagerstätte, der Bergbaubetrieb und die Werksanlagen (Aufbereitung) der Johanneszeche Göpfersgrün sind Eigentum der Firma Hoechst CeramTec, 8592 Wunsiedel 1. Zum Bergbaubetrieb Johanneszeche gehören drei Tagebaue. Es sind dies der südliche (obere – vgl. Taf. 7: Foto 1) und nördliche (untere) Tagebau im Westen der Aufbereitung (Westbruch) sowie der östlich der Werksanlagen gelegene Tagebau (Ostbruch – vgl. Abb. 1). Die Tabelle 2 gibt die Lage und die Größenverhältnisse der vorgenannten Tagebaue wieder.

*Tabelle 2: Lage und Größe der Tagebaue*

Bezeichnung	Lage nach Gauß-Krüger- Koordinaten	TK 25 / Blatt-Nr.	Abmessungen in Metern		
			Länge	Breite	Wandhöhe
Unterer Tagebau Westbruch-Nord	R 45.05.66 H 55.47.86	5938 Markt- redwitz	210	160	40
Oberer Tagebau Westbruch-Süd	R 45.05.66 H 55.47.72	5938	200	75	23
Ostbruch	R 45.05.96 H 55.47.76	5938	150	80	8 (Tiefbau bis zur 20-m-Sohle)

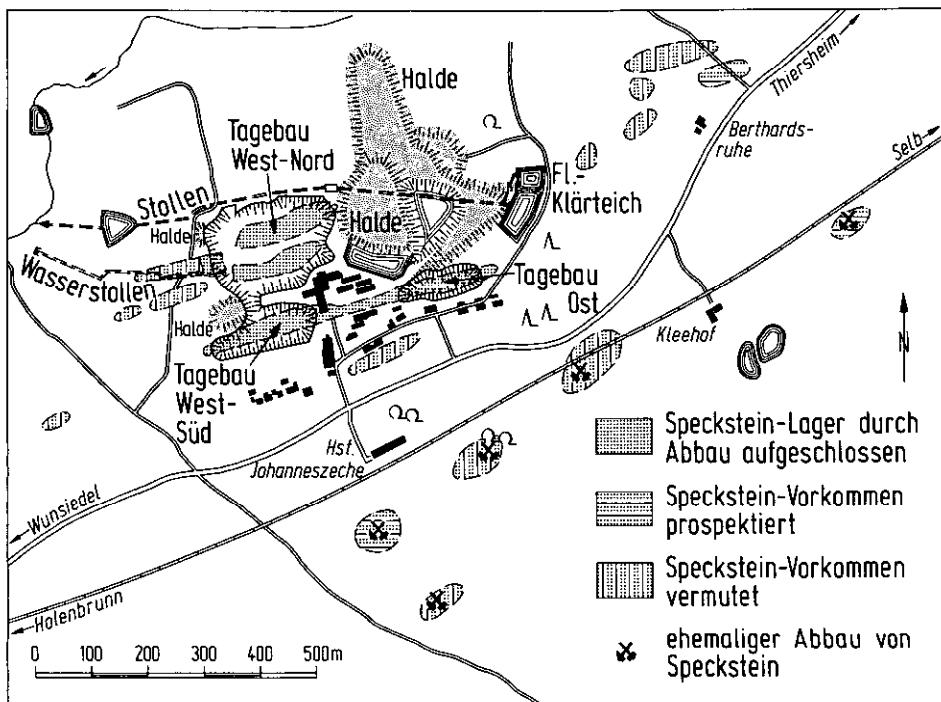


Abb. 1. Lageskizze der Specksteingrube Johanneszeche Göpfersgrün.

Die ehemalige Schachtanlage mit 67 m Teufe und die bei 20 m, 40 m und 60 m angeschlagenen Sohlen dienen zusammen mit Strecken, Sumpfstrecken, Hilfsschächten und Wasserstollen der Lösung und Sümpfung der Grubenwässer.

### Geographische Lage

Der Bergbaubetrieb Johanneszeche liegt 4 km östlich von Holenbrunn, zwischen den Orten Göpfersgrün und Thiersheim im Landkreis Wunsiedel, Regierungsbezirk Oberfranken, Bergamtsbezirk Bayreuth.

### Geologie und Entstehung der Lagerstätte (nach STETTNER 1959)

Die Specksteinvorkommen liegen in einer schmalen, maximal 750 m breiten Zone, die in Ostnordost-Richtung streicht und auf etwa 5 km Länge von Göpfersgrün bis Thiersheim reicht (vgl. Abb. 2). Das Hauptvorkommen ist in den drei Tagebauen des Bergbaubetriebes Johanneszeche der Firma Hoechst Ceram-Tec, 8592 Wunsiedel 1, bis zu einer Teufe von 40 m aufgeschlossen (vgl. Abb. 1).

Der Speckstein ist an den nördlichen Wunsiedler Marmorzug der hier mit  $70^\circ$  bis  $80^\circ$  in  $160^\circ$  einfallenden Arzberger Serie gebunden, der hier mit dem porphyrischen Marktleuthener Granit in Kontakt tritt. Der Granit durchbricht den

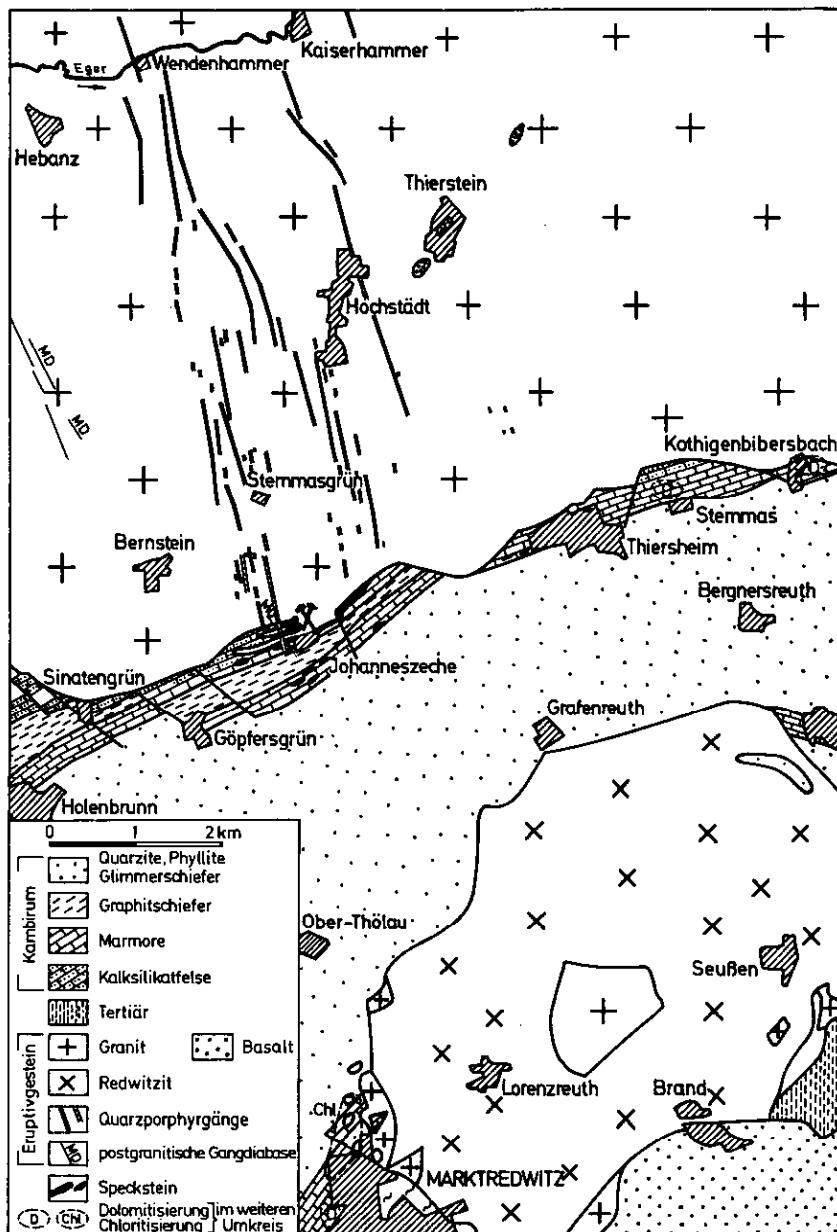


Abb. 2. Geologische Übersichtskarte des Umfeldes der Specksteinlagerstätte Göpfersgrün. — Aus STETTNER (1959: Abb. 1).

Marmor mehrmals in Ostnordost-streichenden Gängen und löst ihn in Schollen auf. Jüngere postgranitische, nordwest-streichende Mesodiabasgänge durchsetzen Marmor und Granit. Alle diese Gänge werden von einem in Nordnordwest-Richtung streichenden Rhyolithgang (Quarzporphyrgang) durchbrochen (vgl. Abb. 3).

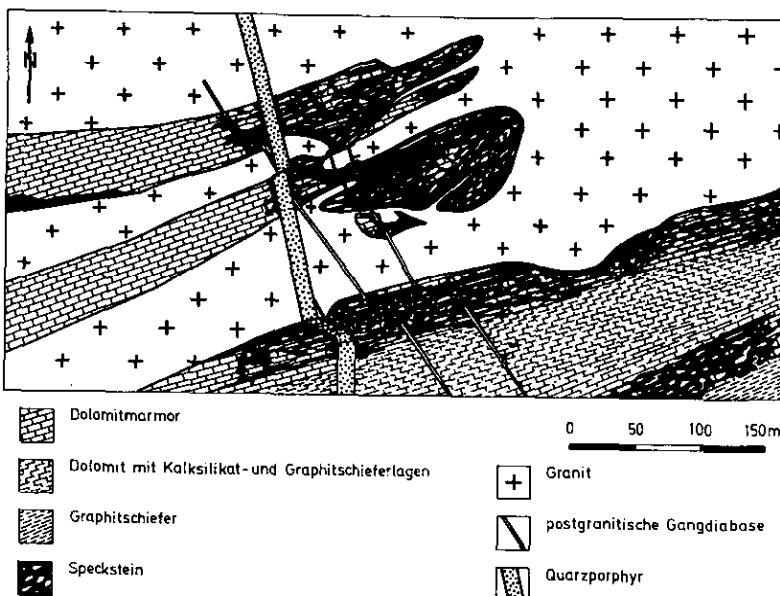


Abb. 3. Der geologische Verband bei der Johanneszeche. — Aus STETTNER (1959: Abb. 18).

Der Speckstein, ein dichtes Aggregat von feinschuppigem Talk, entstand durch Metasomatose im Marmor. Der Specksteinbildung ging, soweit der Marmor nicht bereits primär eine dolomitische Zusammensetzung besaß, eine Dolomitisierung des Kalkmarmors voraus. Der metasomatischen Dolomitisierung des Kalkmarmors folgte die metasomatische Umwandlung des Dolomits zu

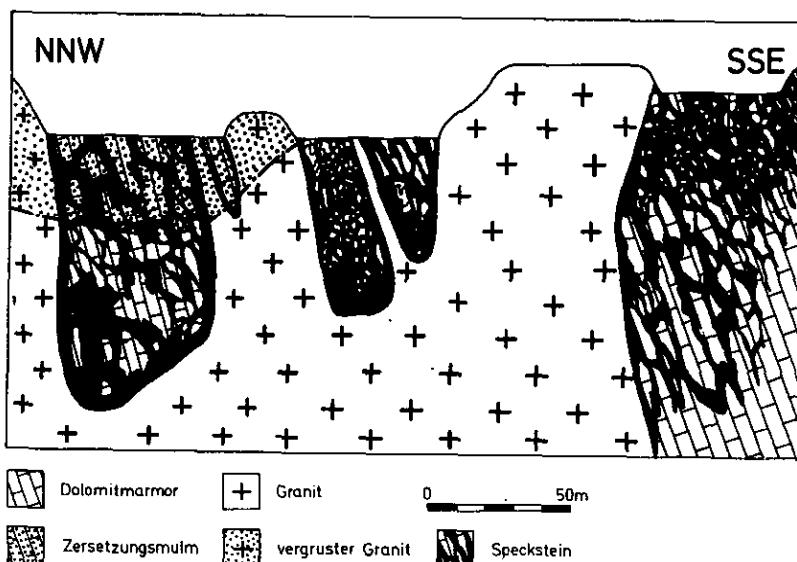


Abb. 4. NNW-SSE-Profil durch die Specksteinlagerstätte Johanneszeche. — Aus STETTNER (1959: Abb. 26).

Speckstein durch aszendente hydrothermale Lösungen. Bevorzugt vollzog sich die Specksteinbildung wegen der besseren Wegsamkeit der Lösungen am Granitkontakt. Die Umsetzungsvorgänge der Magnesiummetasomatose zu Speckstein haben sich meist unter Erhaltung der Strukturen und Texturen des Ursprungsgesteins (Marmors) vollzogen (vgl. Abb. 4).

Die Mineralparagenese der Magnesiummetasomatose besteht aus: Dolomit, Quarz, Chlorit und Talk. Der Magnesiumgehalt entstammt dem prämetasomatischen Dolomitmarmor und ist durch das Rhyolithmagma mobilisiert worden. Auch der Kieselsäuregehalt stammt aus hydrothermalen Kieselsäurelösungen dieses Magmaberdes. Die Rhyolithgänge belegen eine vom Osthang des Kornberges in Südsüdost-Richtung auf die Specksteinlagerstätte zustreichende Zertrüngszone, die den hydrothermalen Lösungen Aufstiegsmöglichkeiten bot (vgl. Abb. 2). Für die Entstehung der Lagerstätte wird ein Temperaturbereich zwischen 100° und 300° C angenommen.

Die silikatischen, aluminiumhaltigen Gesteine, wie Kalksilikate, Phyllite, Quarzphyllite, Amphibolit- und Chloritamphibolitgänge, Granit, Mesodiabas und Rhyolith erfuhrn durch die Magnesiummetasomatose eine Chloritisierung. In dem am Granitkontakt chloritisierenden Vesuvianfels fand JAKOB (1979) bis zu 7 cm große Scheelit-Porphyroblasten.

Die Chloritamphibolite lassen neben der Chloritisierung auch eine Vertalkung erkennen.

Der Speckstein bildet – entsprechend seiner metasomatischen Entstehung aus Dolomitmarmor – vielfach an der Kontaktzone von Granit und Dolomitmarmor unregelmäßig begrenzte Nester und Lagen (vgl. Abb. 5).

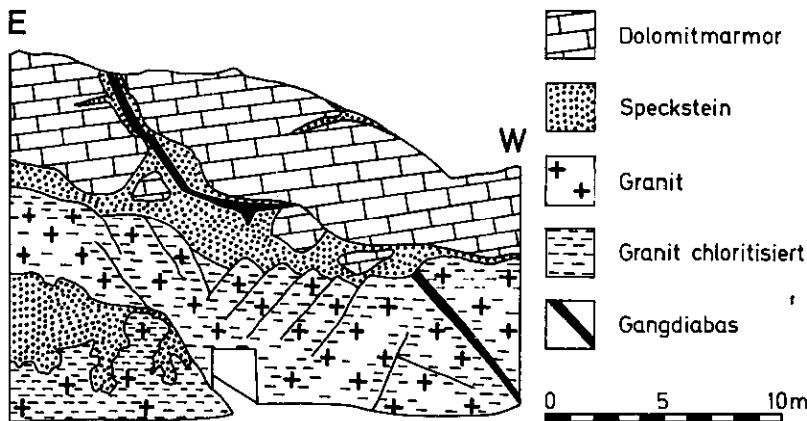


Abb. 5. Verband zwischen Dolomitmarmor, Speckstein, Granit und postgranitischem Gangdiabas in der Südwand des unteren nördlichen Tagebaus der Johanneszeche, westlich der Aufbereitung. – Aus STETTNER (1959: Abb. 19).

Das Alter der Entstehung der Lagerstätte wird in das Obere Unterrotliegende gestellt.

## Lagerstätten

Das gesamte Specksteinvorkommen erstreckt sich in einer schmalen, maximal 750 m breiten Zone in Ostnordost-verlaufender Streichrichtung von etwa 5 km Länge zwischen den Ortschaften Göpfersgrün und Thiersheim. Es ist in einzelnen Lagen bis zu 35 m mächtig und liegt unter 10 m bis 15 m Überdeckung. Die im Ortsbereich Thiersheim anstehenden Specksteinlager entziehen sich wegen der Bebauung dem bergmännischen Zugriff. Zum Teil ist das Specksteinlager hier auch bereits abgebaut. Dem Hauptvorkommen der Johanneszeche von Göpfersgrün gliedern sich in fortsetzender Streichrichtung sowie im südlichen Bereich kleinere, schollenförmige Specksteinlagen an, die zum Teil in Oberflächennähe durch früheren Untertagebau bis in Teufen von 15–20 m gewonnen worden sind. Über die Teufenerstreckung der Speckstein-Lagerkörper und ihre Ausbildung im Bereich der Tagebaue der Johanneszeche geben hier niedergebrachte Bohrungen Aufschluß. In der Übergangszone der Specksteinlagerstätte zu den im Süden folgenden Metasedimenten (Phylliten, Serizitquarziten) der Arzberger Serie folgt im Streichen ein etwa 10 m mächtiger, Chlorit führender Talkschieferzug.

Talk (altarabisch), ein meist weißes, teilweise hellgrünes, weiches, wasserhaltiges und sich fettig anführendes Magnesiumsilikat mit der Formel  $[\text{Mg}_3(\text{OH})_2/\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ , kommt teils in schuppiger bis blättriger Form (Talkschiefer), teils als dichtes, monomineralisches Gestein mit richtungsloser Verfilzung der Talkschüppchen (Speckstein, Steatit nach PLINIUS) oder als feinschuppiger Topfstein vor. Weniger reine Abarten von Talk sind gelblich oder grau, durch Eisen- oder Manganoxide auch bräunlich oder schwärzlich gefärbt. Über 1000° C sintert Speckstein bei ein Schwindung von nur 1–2% vollständig dicht, wobei die Härte 6 erreicht wird. Dies ist bedingt durch die bei 850° C einsetzende Umwandlung des Talkes in Protoenstatit (eine Modifikation der Verbindung  $\text{MgSiO}_3$ ), Abspaltung von  $\text{SiO}_2$  und Abgabe von Wasser.

Topfsteine, feinschuppige Gemenge von Talk und Chlorit, sind an Serpentinitvorkommen gebunden. Die Orte des Abbaus wechseln häufig, da die Lagerstätten nicht lange aushalten und meist nur ein paar Meter mächtig sind. Sie bilden linsenartige Einschaltungen in den Grenzonen der Serpentinite. Meist liegen sie in Zonen starker Verschuppung. Abbaue befinden sich bei Schwarzenbach an der Saale. Auch in der Serie der grünen Gesteine im Fichtelnaabtal nördlich Erbendorf sind Topfsteine vertreten. Sie werden hier auch noch abgebaut. Das Material steht an Wertigkeit dem Göpfersgrünen Speckstein nach, es findet aber eine ähnliche Verwendung.

In Schwarzenbach an der Saale (Topogr. Kt. 1:25 000, Blatt Nr. 5737; R 44.95.680, H 55.65.520) werden in der Talkschiefergrube der Firma Scheruhn Talkum-Bergbau & Co., 8670 Hof a. d. Saale 1, bereits über einen längeren Zeitraum die hydrothermal vertalkten Randbereiche von Serpentinitkörpern abgebaut. Auch die Grünschiefer (Metadiabase, Metatuffite, Chlorit-Albit-Schiefer und Serpentinite) werden abgebaut und vermahlen.

*Tabelle 3: Chemische Analysen vom Speckstein der Johanneszeche  
(Aus STETTNER 1959: 70)*

Analyse Nr.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	H <sub>2</sub> O	Summe
1	51,88	8,05	1,96	0,08	—	29,54	8,12	99,63
2	59,96	6,01	1,86	0,08	Sp.	25,47	6,34	99,72
3	57,70	3,76	1,91	Sp.	—	29,78	6,80	99,95
4	59,08	2,67	1,74	Sp.	—	30,26	5,96	99,71
5	61,70	2,08	0,84	Sp.	—	29,53	5,74	99,89
6	61,20	2,08	1,89	Sp.	—	29,06	5,77	100,00
7	60,72	2,06	1,37	Sp.	Sp.	30,02	5,62	99,79
8	60,90	2,02	1,47	Sp.	—	30,10	5,67	100,19
9	61,37	1,96	1,47 <sup>*)</sup>	—	—	30,23	5,37	100,40
10	61,80	1,78	1,19	Sp.	—	30,12	4,95	99,84
11	61,20	0,95	0,93	Sp.	—	30,82	5,24	99,14
12	61,32	1,47	1,12	Sp.	—	30,62	5,19	99,72
13	60,94	1,23	0,57	—	Sp.	31,48	5,42	99,64
14	61,74	1,17	1,14	Sp.	—	30,32	5,22	99,59
15	61,66	0,99	1,23	ger. Sp.	Sp.	30,84	5,14	99,86
16	61,67	0,95	0,89	Sp.	—	30,68	5,21	99,30
17	61,42	0,86	1,28	Sp.	—	31,18	5,17	99,91
18	61,64	0,82	0,67	Sp.	Sp.	31,14	5,18	99,45

<sup>\*)</sup> Der Fe-Gehalt ist bei Analyse Nr. 9 mit FeO angegeben.

Die Analyse des Specksteins von Schwarzenbach a. d. Saale ergibt:

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O
54,69	0,02	3,57	6,13	28,28	0,10	0,10	0,10	0,01	6,99

Die Marmorkalkwerke Troesch KG – Holenbrunn, Dolomit- und Tatkum-Bergbau, 8592 Wunsiedel, besitzen nördlich von Erbendorf, östlich der Fichtelnaab, auf den Flurstücken Kellerrangen, Mauswinkel, Leite, Nassäcker und Birkäcker (Topogr. Kt. 1:25 000, Blatt Nr. 6138; R 45.03.260, H 55.23.920) ein Specksteinvorkommen, das im Bereich der zuletzt genannten beiden Flurstücke durch einen Tiefbau (Stollen) nachgewiesen ist. Es handelt sich um Nordost-streichende, flach gegen Südosten einfallende, 10 m mächtige Vertalkungszo-nen. Die Vertalkung ist vorzugsweise an die Ränder eines Serpentinitkörpers gebunden und verläuft auch parallel zu Störungszonen im Serpentinit. Die Gewinnung erfolgt im Tagebau und im Untertagebetrieb (Stollenbau). Die 10 m betragende Abbauhöhe soll auf zwei Sohlen weitergeführt werden.

Der hier gewonnene Topfstein besitzt eine gleichmäßig dichte Beschaffenheit und führt neben Chlorit häufig Strahlstein und Talk sowie Magnesit, an Erzmineralen Magnetit.

### Gewinnungstechnik, Aufbereitung und Verwendung

Die Specksteinlagerstätte bei Göpfersgrün – mit insgesamt 55 Beschäftigten – wird im Tagebau abgebaut. Das Rohgut wird durch Läuterung, Magnetschei-dung, Mahlung und Flotation aufbereitet. In allen Specksteinlagern treten ört-

lich wechselnde Specksteinqualitäten auf. Ausschlaggebend für die Beurteilung der Qualität ist der Anteil des Chloritgehaltes. Erst durch den Aufbereitungsvorgang (Sortierung und Flotation) wird eine einheitliche Qualität erzielt, die den Anforderungen elektrokeramischer Artikel (Steatit) entspricht. Die Durchschnittsqualität der einzelnen Specksteinlager ist etwa gleich. Die 8 m bis 10 m mächtigen Talksschiefer im Bereich der südlichen Übergangszone der Lagerstätte eignen sich wegen ihres erhöhten Chloritgehaltes von durchschnittlich 30% vorwiegend zur Herstellung von technischem Talkum (Talk in pulverförmiger Form).

Speckstein selbst ist sehr weich und lässt sich mechanisch gut bearbeiten. Durch Brennen wird er fast so hart wie Quarz, ist wie dieser praktisch unschmelzbar und weist eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit auf. Wegen dieser Eigenschaften dient er der Fertigung von elektrokeramischen Niederspannungsteilen und von Isolatoren, die eine hohe Durchschlagsfestigkeit besitzen müssen sowie von Brennern für alle Gasarten und von Futtereinlagen und Mahlkörpern für Kugelmühlen.

Die verwertbare Förderung an Speckstein ist von 17 000 t im Jahr 1970 bis heute auf 9 500 t zurückgegangen.

Darüber hinaus erfolgt eine begrenzte Talksschiefergewinnung in Kleinbetrieben. Bauwürdige Lagerstätten finden sich bei Schwarzenbach an der Saale und bei Erbendorf. Die verwertbare Förderung der Kleinbetriebe ist von 20 000 t im Jahr 1970 bis heute auf etwa 6 000 t zurückgegangen. Dieser Talk dient wegen seiner blätterigen Struktur als Dachpappenbestreuungsmaterial, als Füllstoff für Kabelvergußmassen, Steinholzerzeugnisse und Baumaterialien.

**Dank:** Für die großzügige Überlassung von firmeneigenen Daten und Dokumentationsmaterial sowie für wertvolle Anregungen und Diskussionen sei den Firmen Hoechst CeramTec, Bergbaubetrieb Johanneszeche, Wunsiedel, Scheruhn Talkum-Bergbau GmbH & Co., Hof a. d. Saale, und Marmorkalkwerk Troesch KG Holenbrunn, Wunsiedel, herzlich gedankt.

## Literatur

- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND VERKEHR (1978): Rohstoffprogramm für Bayern. (Mit 1 Farbtaf. von SCHMID, H. & WEINELT, WI.: Lagerstättenkarte von Bayern 1:500 000 – Erze, Industriemineralen, Salze und Brennstoffe). – 129 S., München.
- JAKOB, H. (1979): Neue Scheelit-Vorkommen in Nordbayern. – Aufschluß, 30: 187–192, Heidelberg.
- (1984): Die Wüstungen der Obermain-Regnitz-Furche und ihrer Randhöhen vom Staffelberg bis zur Ehrenburg. – Z. Archäol. Mittelalters (ZAM), 12: 73–144, Köln.
- SCHMID, H. & WEINELT, WI. (1978): Lagerstätten in Bayern. Erze, Industriemineralen, Salze und Brennstoffe. Mit einer Lagerstättenkarte 1:500 000. – Geologica Bavaria, 77: 160 S., München.
- STETTNER, G. (1959): Die Lagerstätte des Specksteins von Göpfersgrün – Thiersheim im Fichtelgebirge. – Geologica Bavaria, 42: 72 S., München.



## Gips und Anhydrit

Von HERMANN WEINIG

Mit 6 Abbildungen, 1 Tabelle und 1 Foto

Gips ist ein jahrtausende alter Baustoff, da man bereits früh die technischen Eigenschaften des gemahlenen und gebrannten Gipssteines als Bindemittel erkannte. Gipsmörtel ist bei uns seit dem frühen Mittelalter in Gebrauch. Stuckgips wird zur plastischen Verzierung oder als „Stuckmarmor“ seit der Renaissance in größerem Umfang verwendet. Die frühe Bedeutung der fränkischen Gipsvorkommen ist auch aus Ortsnamen wie Iphausen, Iphofen, Iffigheim, Uffenheim u. a. zu ersehen. Lokale Bedeutung erlangten ehemals Gipssteine des fränkischen Keupers in Ermangelung anderer ortsnahen Rohmaterials als massiver Baustein (vgl. z. B. LUCAS 1986), in granulierter Form auch als Kunstdünger. Die Gipskocher („Markt Einersheimer Stuckgips“) waren frühe Vorläufer der heute mit modernsten Drehöfen arbeitenden Gipsindustrie.

### Unternehmen

Die Lagerstätten des fränkischen Gipskeupers werden von drei Firmen abgebaut, die auch den Großteil der Rohstoffe weiterverarbeiten. Es sind dies die Fa. Gyproc GmbH, Baustoffproduktion & Co. KG, Steinsfeld (2 Gruben und Werk bei Hartershofen), die Fa. Heidelberger Zement, Aktiengesellschaft, Heidelberg (Grube und Werk jeweils in Künsheim und Sulzheim, Grube und Anhydrit-Aufbereitung in Döhlau) und die Firma Gebr. Knauf, Westdeutsche Gipswerke, Iphofen (Gruben in Donnersdorf, Possenheim, Hüttenheim, Nenzenheim, Markt Bibart, Krassolzheim, Herbolzheim, Engertsheim, Westheim, Marktbergel; Werke Iphofen I und II und Neuherberg, Anhydrit-Aufbereitung in Hüttenheim).

In Döhlau und Hüttenheim wird untertägig (Gips)-Anhydrit bzw. Anhydrit gefördert, alle übrigen Gruben sind Gips-Tagebaue.

*Tabelle 1: Eckdaten*

Rohstoff	Förderung 1986 in t	...	Gewinnungsstellen	Belegschaft
Gips und Anhydrit	1 065 000		13	1088 inkl. Verarbeitung

### Geographische Lage

Gips- und Anhydritgesteine von wirtschaftlicher Bedeutung sind in Bayern vornehmlich an den Gipskeuper, d. h. an den Ausstrich der Unteren Myopho-

rienschichten gebunden. Dieser verläuft mit wechselnd ausgebildeten Sulfatlagern von Wettringen im Süden über Rothenburg–Bad Windsheim–Iphofen–Sulzheim–Knetzgau, nördlich des Mains über Hofheim–Bad Königshofen bis zur Grenze nach Thüringen.

Die derzeitigen Betriebspunkte gehen aus Abbildung 1 hervor. Gips-Anhydrit-Mischgestein des Mittleren Muschelkalkes wird nördlich Döhlau (nordwestlich Bayreuth, r 75 200, h 36 260) abgebaut.

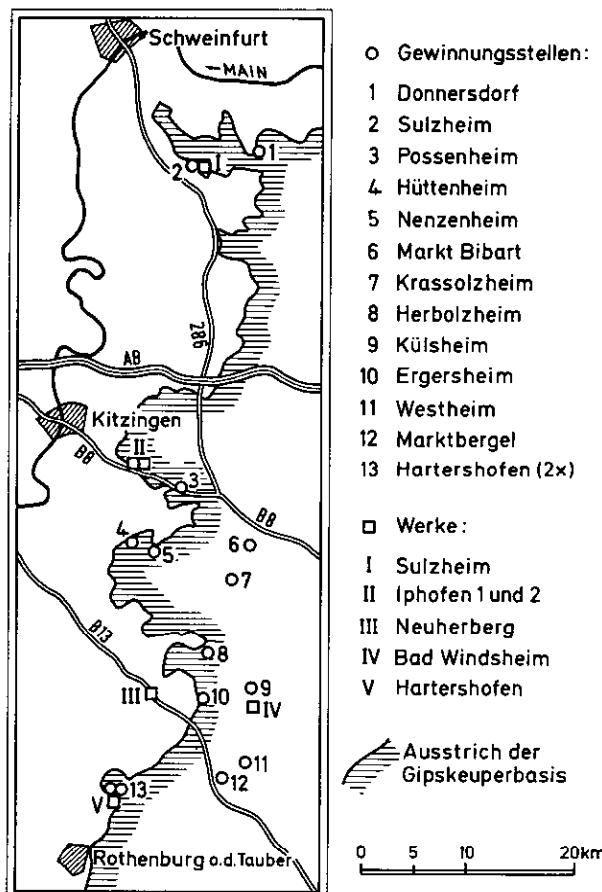


Abb. 1. Lage der Gips- und Anhydrit-Gewinnungsstellen und Werke im fränkischen Gipskeupergebiet (Stand 1987). – Nr. 4: Anhydrit-Bergwerk Hüttenheim; alle übrigen Punkte: Gips-Tagebaue.

### Entstehung der Lagerstätten

Die Gips- und Anhydritlagerstätten der Fränkischen Trias gehören zur Gruppe der marin entstandenen Salzgesteine, über deren Genese eine umfangreiche Literatur besteht. Im Mittleren Muschelkalk und im Gipskeuper herrschten über längere Zeit hinweg Bildungsbedingungen, die zum Aufbau wirtschaftlich gewinnbarer Sulfatlager ausreichten: Aride Klimaverhältnisse führten teilweise zur Verdunstung vom Ozean abgeschnürter Meeresteile. Mit dem Über-

schreiten der Löslichkeits-Konzentration des  $\text{CaSO}_4$  erfolgte seine Ausfällung. Es muß angenommen werden, daß ständig oder zeitweise frisch zugeführtes Meerwasser den Verdunstungsverlust ersetzte, während die schwere, gesättigte Bodenlauge im Becken verblieb (vgl. Barren-Theorie, OCHSENIUS) und so mehrere Meter mächtige Gipslager entstehen konnten. Stärkere bzw. anhaltende Frischwasserzufuhren unterbrachen die Bedingungen der ungestörten Sulfatfällung und führten zur Bildung von klastischen (tonigen) oder organogenen (karbonatischen) Beimengungen oder Zwischenlagen.

Verschiedene hier nicht zu erörternde Überlegungen (z. B. HENKE & HILLER 1982) machen die primäre Bildung von Gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) wahrscheinlich. Die Bedeckung der Gipslager durch einen mächtigen Sedimentstapel (Größenordnung 1000 m) führte zur diagenetischen Austreibung des Kristallwassers und damit zu deren Umwandlung in Anhydrit ( $\text{CaSO}_4$ ). Erst als im Verlauf der jüngeren Erdgeschichte die Anhydrite durch Hebung und Abtragung der aufliegenden Schichten wieder in Oberflächennähe und damit in den Einfluß der oberflächennahen Grund- und Sickerwässer gelangten, erfolgte unter Volumenzunahme eine Rückbildung des Anhydrits in Gips, der allerdings nur unter günstigen Bedingungen die Ausdehnung abbauwürdiger Lagerstätten annimmt (im einzelnen s. unten).

## Geologie und Ausbildung der Lagerstätten

### Mittlerer Muschelkalk

Den Mittleren Muschelkalk kennzeichnen salinare Bedingungen, wobei jedoch örtlich sehr verschiedene Sedimentfolgen vorliegen. Das Gebiet östlich Bayreuth gehört der anhydritischen Entwicklung an. Hierbei wurde die Sedimentation der im randlichen Becken des Muschelkalkes vorherrschenden Dolomite und Mergelkalke durch die Bildung von teils bauwürdigen Sulfatlagern mehrfach unterbrochen. Über die Sulfatlager des Oschenberges nördlich Döhlau und den dortigen Bergbau hat WETZEL (1981) in ausführlicher Weise (!) gearbeitet. Seine Ergebnisse konnten in dieser kurzen Übersicht nicht untergebracht werden (vgl. jedoch EMMERT 1977, SCHUSTER 1936).

Das in Abbildung 2 wiedergegebene Schichtprofil einer Untersuchungsbohrung (Aufnahme F. TRAUB) vermittelt ein in etwa repräsentatives Bild des Schichtaufbaus im Bereich des Oschenberges. Die Bohrung steht im Bereich der derzeitigen Abbaufront (Nordrand Nordfeld) des Untertagebergbaus Döhlau.

Der Mittlere Muschelkalk erreicht hier seine maximale Mächtigkeit von über 50 m. Obgleich sich Sulfatlager fast über das gesamte Profil verteilen, sind bauwürdige Anreicherungen auf 2 bis 3 „Flöze“ beschränkt, die selbst wieder lagig differenziert sind. Man spricht daher auch von „Flözgruppen“: Unmittelbar über den Orbicularismergeln des Unteren Muschelkalkes setzt die Sulfatbildung ein, die sich wenig höher zu dem vorwiegend anhydritischen Flöz 1 (7–8 m mächtig) entwickelt. Im Mittelfeld folgt das derzeit nicht bauwürdige Flöz 2 (4 m), wenig darüber das teilweise gipsführende Flöz 3 (7–8 m), das derzeit die Grundlage des Döhlauer Sulfatbergbaus bildet.

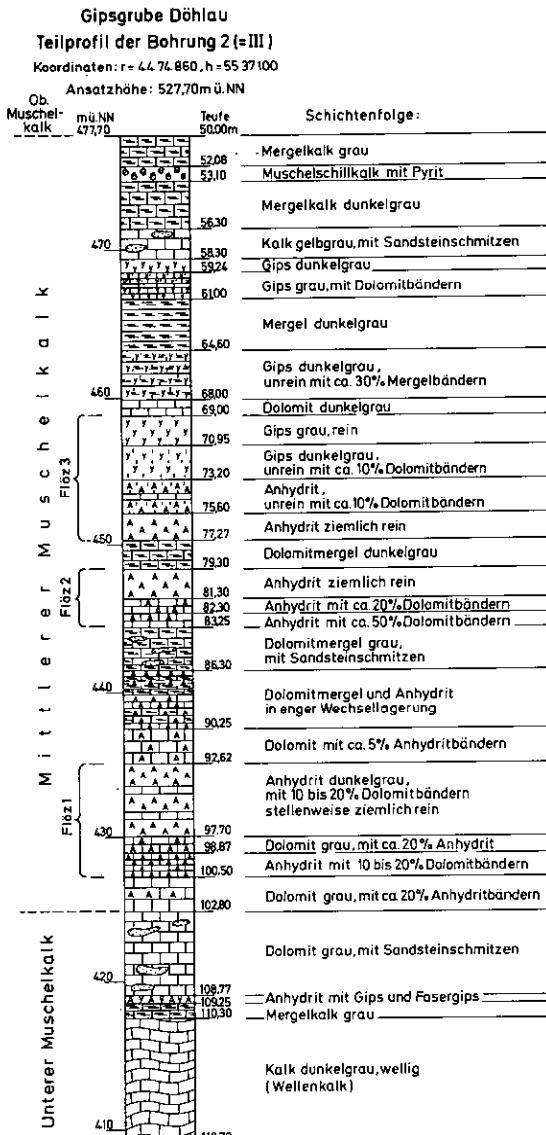


Abb. 2. Schichtenprofil des Mittleren Muschelkalkes (mit 3 Sulfatflözen) im Bereich der derzeitigen Abbaufront (Nordrand Nordfeld) des Bergwerkes Döhlau. – Profilaufnahme F. TRAUB 1961; etwas vereinfacht.

Gips und Anhydrit verschiedener Reinheitsgrade treten in den Flözen meist in dünnlagiger Wechselfolge (cm-Bereich) mit mergelig-dolomitischen, wechselnd sulfatischen Zwischenschichten auf. Die derzeit zum Abbau gelangenden Schichten der Flözgruppe 3 (untere 5 m) bilden somit Anhydrit-Gips-Karbonat-Ton-Mischgesteine. Sie weisen mittlere Gehalte von 60–70% Anhydrit und 10–20% Gips bei 20% tonig-karbonatischer Verunreinigung auf.

Die bisher aufgefahrenen Sulfatlager fallen mit dem Schichtenstapel des Mittleren Muschelkalkes wenige Grad nach Südwesten ein, das derzeit in Abbau

stehende Lager geht in söhlige Lagerung bis leichtes Nord-Fallen über. Bereichsweise sind die Schichten durch Flexuren verborgen, was sich in wellig-kuppiger Flözlagerung äußert (z. B. allseitig geschlossene Mulde im Südfeld). Sulfatlösung und nachgebrochenes Gebirge ergeben örtliche Störungen der Schichtfolge bis hin zu nicht bauwürdigen Teilen.

### Gipskeuper

Die Gips- bzw. Anhydritgesteine des Gipskeupers sind durch zahlreiche Veröffentlichungen, z. B. SCHUSTER (1936), TRAUB (1964), in neuer Zeit besonders durch HERRMANN (1976) oder HERRMANN & RAUEN (1976) dargestellt. Auf diese Arbeiten wird im folgenden Bezug genommen.

Das Liegende der bauwürdigen Sulfatlager bildet immer der horizontbeständige Grenzdolomit, dessen bereichsweise eingeschaltete Gipslager die Lagerstätten des nun folgenden Gipskeupers ankündigen.

Meist unmittelbar über dem Grenzdolomit, selten durch Tonmergel von ihm getrennt, folgen als unterstes Schichtglied der Myophorienschichten die Gips- und Anhydritlager des Grundgipses.

Der in der Literatur verwendete Schichtenname „Grenz-Grundgips“ bezeichnete die mächtigen Gipslager an der unteren Grenze der „Grundgipsschichten“ (Unterer Teil des Gipskeupers: Myophorienschichten), von denen die – nicht bauwürdigen – „Berggipsschichten“ (Oberer, am Berg austreichender Teil des Gipskeupers: Lehrbergschichten) unterschieden wurden (s. z. B. ARNDT 1933).

Die Unterteilung des Grenz-Grundgipses durch SCHUSTER (1936) in Felsen-gips (unten) und Plattengips (oben) führte zu unterschiedlicher Anwendung dieser Schichtbezeichnungen insofern, als Ansprache und Abmessung des „Platten-gipses“ nicht einheitlich vorgenommen wurden. HOFMANN (1986) beseitigt diese Unstimmigkeiten durch eine Gliederung, die vor allem der heutigen Praxis der Gipsgewinnung gerecht wird:

Die weitgehend geschlossenen, heute allein bauwürdigen Gips- und Anhydritlager an der Basis der Myophorienschichten werden Grundgipsschichten (kurz: Grundgips = Felsengips) genannt, über denen die Grauen Tonsteine folgen, in die nicht bauwürdige Sulfatlager eingeschaltet sind. Die Schichtenbezeichnung Plattengips wird aufgegeben, da die Obergrenze plattiger Sulfatzwi-schenschichten nicht einheitlich zu fassen ist.

Die Sulfatlagerstätten des Grund- oder Felsengipses (im Sinne HOFMANNS 1986) umfassen eine etwa 8 m (bis 10 m) mächtige Serie meist massig wirkender Dickbänke.

Die Abfolge lässt sich nach einem Schema gliedern, das in unserem gesamten Raum in seinen Grundzügen wiederkehrt: Sehr häufig ist der Grundgips durch 3 Zwischenlagen bzw. Horizonte wechselnder Mächtigkeit (wenige Zentimeter bis über 1 m) und Zusammensetzung (karbonatisch-tonig-sulfatisch, bisweilen fossilführend) in 4 Sulfatlager geteilt. Durch Ausfall, Aufspaltung oder nur ange-deutete Unterbrechung der Sulfatlager durch diese regional in unterschiedlicher Weise „Grott“-Schichten oder „Grind“ genannten Zwischenlagen können sich

örtlich und regionale Abweichungen von folgendem Grundschema (vgl. HERRMANN 1976 oder HOFMANN 1986) ergeben:

Hangendes	Rote Tonsteine Graue Tonsteine mit Gipsbänken	Mächtigkeit <sup>1</sup> im Durchschnitt jeweils 8 m
Lagerstätte	Abbaugips	(0,5–2,7 m) <sup>1</sup>
	Obere Grottschicht	
	Oberer Felsengips	(0,3–2,4 m) <sup>1</sup>
	Mittlere Grottschicht	
	Mittlerer Felsengips	(1,0–2,6 m) <sup>1</sup>
	Untere Grottschicht	
	Unterer Felsengips	(0,9–3,3 m) <sup>1</sup>
Liegendes:	Grenzdolomit	

<sup>1)</sup> Mächtigkeit nach HOFMANN (1986)

Die Bezeichnung Abbaugips mag auf den von den Alten bevorzugten Abbau dieser obersten Gipslage zurückzuführen sein.

Die unteren Sulfatlagen bilden besonders massive, kaum aufspaltende Bänke. Ihre Schichtung ist durch eine zarte Bänderung der selten weißen, meist weißgrauen bis blau- oder dunkelgrauen, in der Regel feinkristallin-dichten Gips-Anhydritsteine gekennzeichnet. Die Sulfatgehalte können hier Werte bis 95% erreichen.

Gegen das Dach des Grundgipses stellen sich im Zusammenhang mit feiner, rhythmisch auftretender, toniger Beimengung lebhaft englagig (ein bis mehrere Zentimeter) gebänderte, insgesamt etwas dunklerfarbige Sulfatlagen ein. Ihre Sulfatgehalte bewegen sich zwischen 75 und 85%. Diese Partien wurden wegen ihrer häufig plattigen Spaltbarkeit ehemals bevorzugt als Baustein verwendet.

Der Aufbau der Gips- bzw. Anhydritlagerstätten sei hier am Beispiel von Profilaufnahmen aus den Tagebauen von Külshausen und Hartershofen aufgezeigt (Abb. 3). Beide 16 km voneinander entfernte Profile lassen sich in der üblichen Weise untereinander wie auch mit den bisher publizierten Profilen (z. B. HERRMANN 1976) korrelieren.

Das Hangende der Sulfatlagerstätten bilden die als Abraum zu betrachtenden Folgen der Grauen (7–9 m mächtigen) und Roten Tonsteine (5–9 m). Die graue Folge ist charakterisiert durch bis zu 1 m mächtige, nicht beständige, plattig-bänkige Sulfatzwischenschichten (früher dem „Plattengips“ zugerechnet). Ihre durch Auslaugung zerlegten, bisweilen als Restblöcke („Hocker“) an die Oberfläche tretenden Bänke führten zur Bezeichnung dieser Lagen als „Hockergips“. Diese Bänke werden heute nur im Ausnahmefall dem Abraum entnommen und verwertet.

### Vorkommen

Erst im Zuge verstärkter Aufsuchungsarbeiten in den rückliegenden 20 Jahren hat sich ergeben, daß „aller Wahrscheinlichkeit nach das 6–10 m mächtige

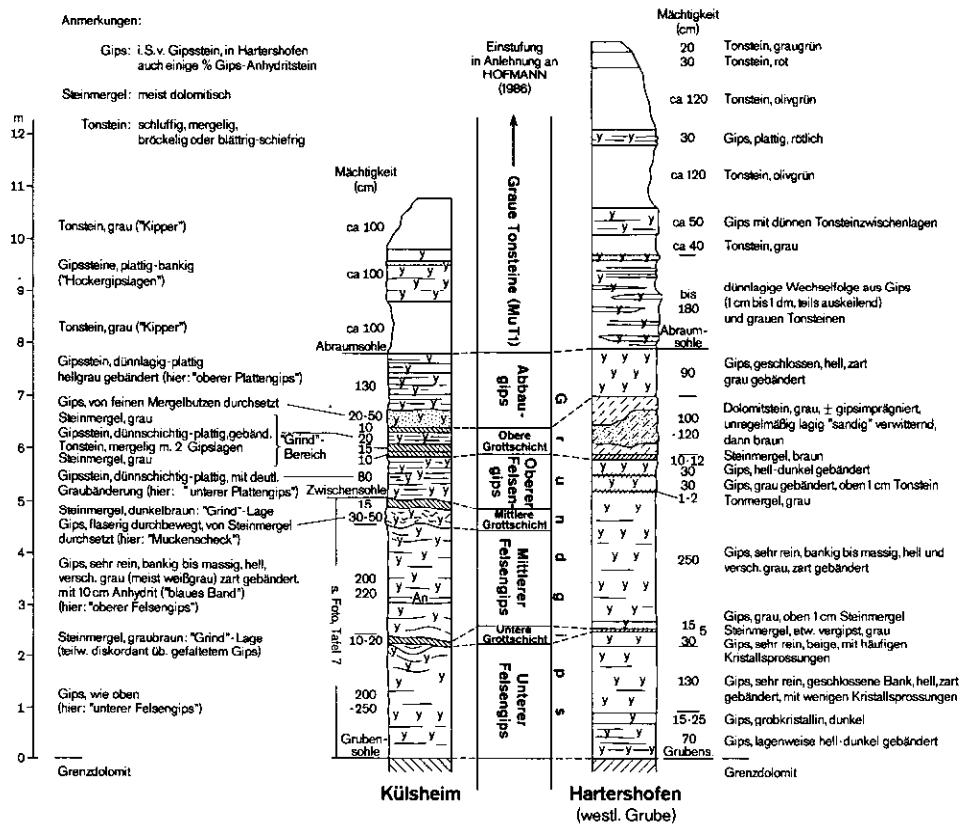


Abb. 3. Profile der Gipstagebaue Künsheim (r: 35 02 550, h: 54 88 250) und Hartershofen (r: 35 89 750, h: 54 78 400).

Sulfatlager des Grundgipses als durchgehende Schicht entwickelt ist“ (HERRMANN 1976). Dieses Sulfatlager liegt überall dort, wo gipsbildende Tageswässer durch Tonsteinüberlagerung ferngehalten werden, d. h. bereits bei Überdeckungen von mehr als 10–15 m, vorwiegend als Anhydritkörper vor. Anhydrit ist demnach im Gebirge praktisch in unbegrenzten Vorräten vorhanden.

Gelangt der Anhydritkörper durch den Abtrag der deckenden Tonmergelsteine in den Bereich von Sickerwässern oder tagnahen Grundwässern, erfolgt seine Umbildung in Gips, „bald“ darauf jedoch auch dessen Lösung und Wegfuhr. Das im dynamischen Gleichgewichtszustand befindliche Nebeneinander von Anhydritkörper im Berg, rückgewandeltem Gips im Ausstrichbereich und dessen Verkarstung und Auslaugung bestimmt das Bild der Gipsvorkommen und deren Bauwürdigkeit. Mit der unter Volumenzunahme einhergehenden Gipsbildung und den dabei im Hinblick auf die Lagerstättenbildung maßgebenden Parametern hat sich in neuerer Zeit REIMANN (1984, 1986: Vortragskurzfassung einer im Geol. Jb., D, erscheinenden Arbeit) befasst.

HERRMANN (1976) stellt die Grundtypen der Gipsvorkommen durch Scheinmaschnitte, aus denen auch die Dynamik der Gipslagerstätten ersichtlich ist,

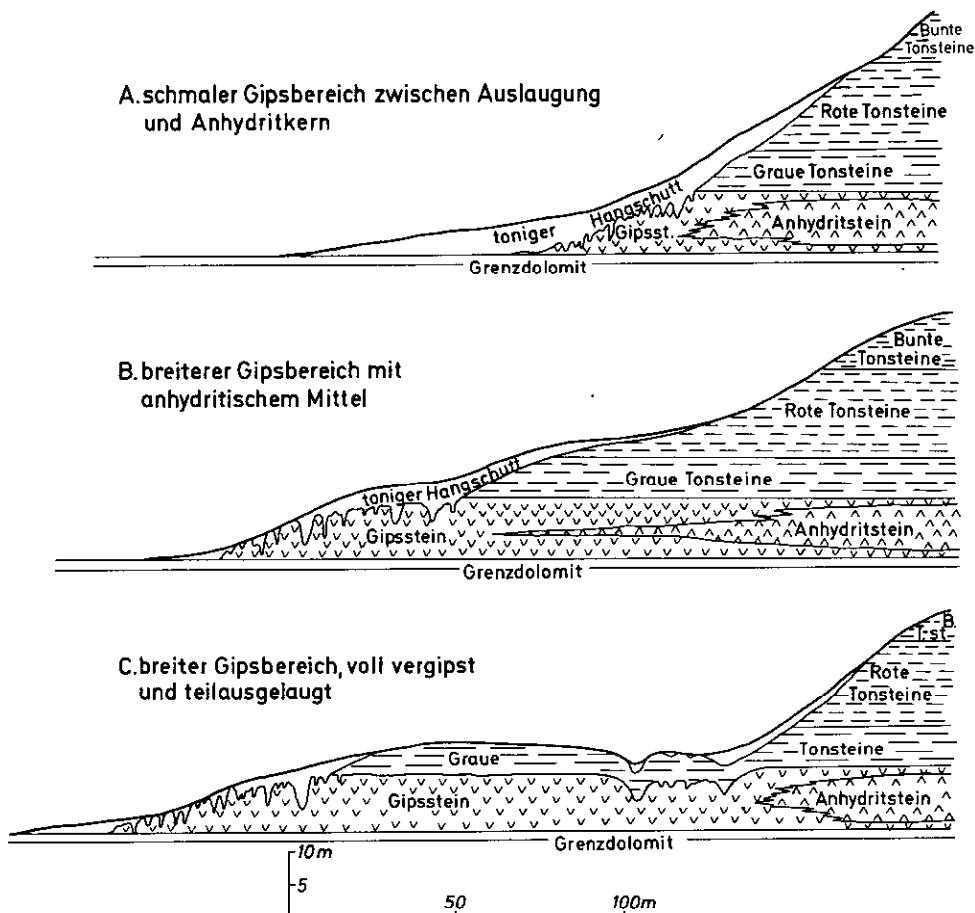


Abb. 4. Geologische Schemaschnitte durch verschiedene Typen von Gipsvorkommen im Grundgipsbereich Frankens (HERRMANN 1976).

anschaulich dar (Abb. 4). Demnach folgt der Vergipsung des Anhydritkörpers im Normalfall seine rasche Auflösung. Ausgedehnte Gipslager unter geringmächtigen Deckschichten verdanken ihr Vorhandensein besonderen Umständen der Reliefbildung. Sie haben – nach geologischem Zeitbegriff – nur sehr kurze Zeit Bestand. Daraus resultiert das verhältnismäßig seltene Auftreten bauwürdiger Gipslagerstätten im Bereich des immerhin einige 100 km langen, vielfach umlaufenden und gebuchten Ausstriches der Grundgipsschichten. Zu den Rohstoffvorräten führten HERRMANN & RAUEN (1976: 55) folgendes aus: „Die besten und größten Gipslagerstätten sind inzwischen ausgebeutet bzw. stehen in Abbau. Weitere noch unverwitterte Vorkommen sind im Prinzip weitgehend bekannt, ihre Bauwürdigkeit muß jedoch im allgemeinen als wesentlich ungünstiger beurteilt werden: sie sind durchweg von geringerer Mächtigkeit und Ausdehnung sowie stärker durch Auslaugung, d. h. sekundäre Fremdgesteinsein- spülungen bzw. durch Restanhydrite und höhere Abraummächtigkeiten beeinträchtigt“.

## Produktion, Gewinnung, Aufbereitung

Auf Lage und Art der Gewinnungsstellen der Gips- und Anhydritsteine wurde bereits in Abbildung 1 verwiesen (vgl. auch Tab. 1).

### Anhydrit:

In Döhlau wird ein Anhydrit-Gips-Gemisch (s. o.) des Mittleren Muschelkalkes, in Hüttenheim ziemlich reiner Anhydrit (ca. 96% Sulfatgehalt, davon wenige % Gips) aus dem Keuper untertätig gewonnen.

Beide Gruben sind durch söhligen Streckenvortrieb erschlossen. Der Abbau erfolgt in Örter-Pfeiler-Bauweise. Als Beispiel diene der Grubenplan des Nordfeldes Döhlau (Abb. 5): Ausgehend von Richtstrecken, die im Abstand von 100–120 m aufgefahren werden und der Erkundung des Flözes dienen, wird das Gebirge engmaschig durchörtert. Die verbleibenden Pfeiler messen etwa  $8 \times 8$  m bzw.  $5 \times 10$  m, womit sich Abbauverluste in der Größenordnung von ca 40% (Beisp. Hüttenheim) ergeben. In beiden Gruben entfällt der Ausbau der Förderstrecken, da die jeweils vorhandene Flözmächtigkeit von 8 m in Döhlau zu gut zwei Dritteln, in Hüttenheim wegen schlecht tragender Hangendschichten nur zur Hälfte abgebaut wird: Der Rest verbleibt jeweils als tragende Firste im Berg. Die Bewetterung der Gruben erfolgt durch Ventilatoren über Luftsäume. Grubenwasser fällt in Hüttenheim nicht, in Döhlau nur zeitweise in geringen Mengen an. Es dient dann zur Besprühung des Haufwerkes.

Die Gewinnung des Rohgutes erfolgt durch Schießen, wobei das Anbohren des Flözes in Döhlau von der Ortsbrust, in Hüttenheim auch von der benachbarten Parallelstrecke ausgeht. Zur Lösung des Materials vom Hangenden bieten sich bestimmte Schichtflächen an. Das Haufwerk gelangt mit Spezialschleppern in die Brechanlage (in Hüttenheim untertätig) und zur Siebung. Das Brechgut wird je nach Verwendungszweck nach verschiedenen Korngruppen meist zwischen 0 und 70 mm klassiert, dann in Silos oder auf Halde (Döhlau > 70 mm) zur Weiterverarbeitung und Verfrachtung zwischengelagert.

In Döhlau ist die Gewinnung von Gips-Anhydrit seit 1737 aktenkundig. Im letzten Jahrhundert begann der Untertagebergbau, der von 1903 bis 1946 ruhte. Nach der Wiederaufnahme erfolgte der Abbau bis Ende der 50er Jahre innerhalb der nach dem preussischen Bergrecht (bis 1865) verliehenen Mutungsfelder. Erst danach bewegte sich die Gewinnung darüber hinaus und wurde zum Grundeingentum-Bergbau. Bis 1970 ging der Bergbau im „Südfeld“ (ca.  $300 \times 200$  m) auf 3 Flözgruppen in übereinander liegenden Sohlen um.

Nach dem Auffahren des Nordfeldes (Abb. 5) beschränkt sich der Bergbau im wesentlichen auf die höchste Flözgruppe 3. Der Umfang der bisher ausgebauten Grubenfelder beträgt ca.  $500 \times 700$  m. Das tiefste Flöz 1 ist derzeit durch einen Schrägstollen mit Richtstrecke aufgeschlossen.

Im Gipskeupergebiet begann der Untertagebergbau auf Anhydrit nach dem 2. Weltkrieg. Als derzeit einziger Untertagebetrieb besteht die Grube Hüttenheim seit 1957 und hat den Bereich des dortigen Tannenberges in einem Umfang von bald 1 km<sup>2</sup> unterfahren. Die bereits vorher betriebenen Untertagegruben

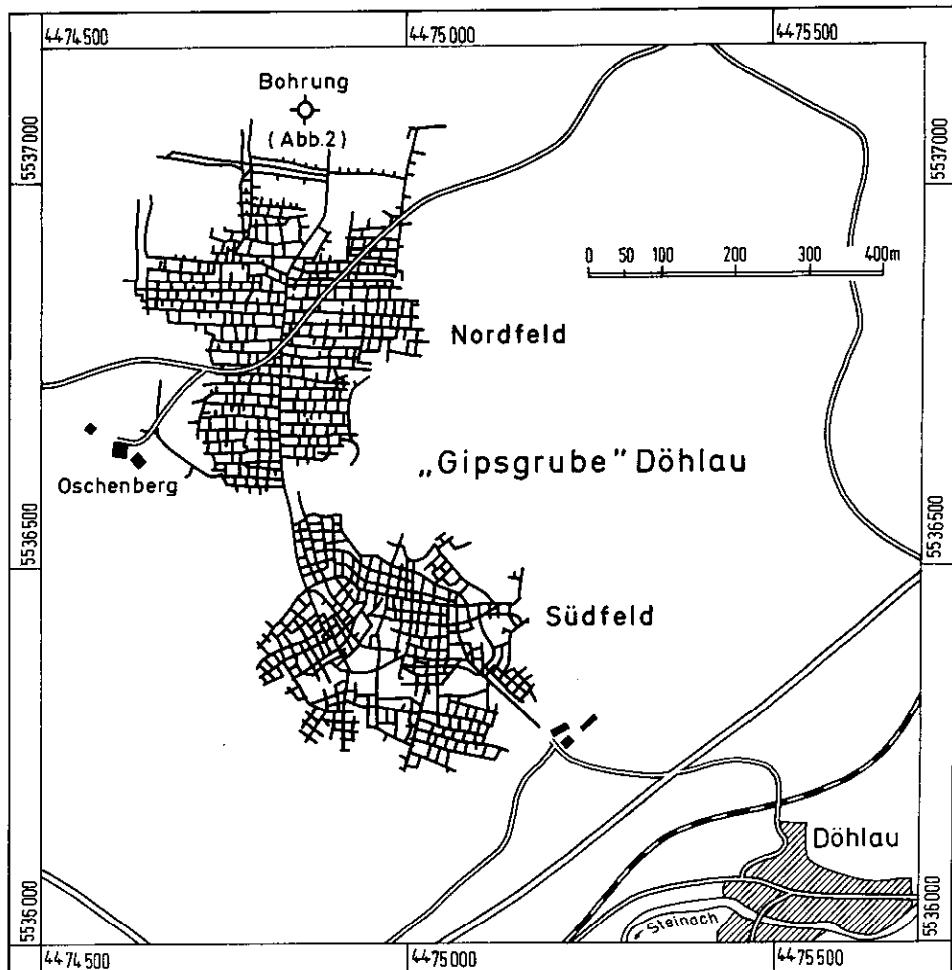


Abb. 5. Streckenplan des Pfeiler-Örter-Bergbaus auf Anhydrit/Gips im Oschenberg bei Döhlau (6 km nordöstlich Bayreuth); am Nordrand des Nordfeldes sind Richtstrecken aufgefahren.

nördlich Markt Einersheim und nördlich Hellmitzheim sowie der neben Hüttenheim betriebene Tiefbau südöstlich Seinsheim liegen still.

### Gips:

Die Jahrhunderte zurückreichende Gipsindustrie entwickelte sich verstärkt erst seit den 60er Jahren im Zuge gewandelter Bautechnik zu ihrer heutigen Bedeutung. Derzeit werden 11 mehr oder weniger umfangreiche Gruben auf Gips betrieben, der im Keuper (fast) durchweg im Tagebau zu gewinnen ist (Taf. 7: Foto 2). Der Abbau erfolgt auf mehreren Sohlen, die je nach Ausbildung und Anzahl der unverwertbaren Grind-(Grott-)Zwischenlagen in deren Niveau angelegt werden. In der Regel werden diese Zwischenschichten ausgehalten. Die Gestaltung der Tagebaue paßt sich dem örtlichen Profilaufbau an. Als – häufig vereinfachtes – Grundschemata selektiver Abbauweise kann die Darstellung von HERRMANN (1976) gelten (Abb. 6).

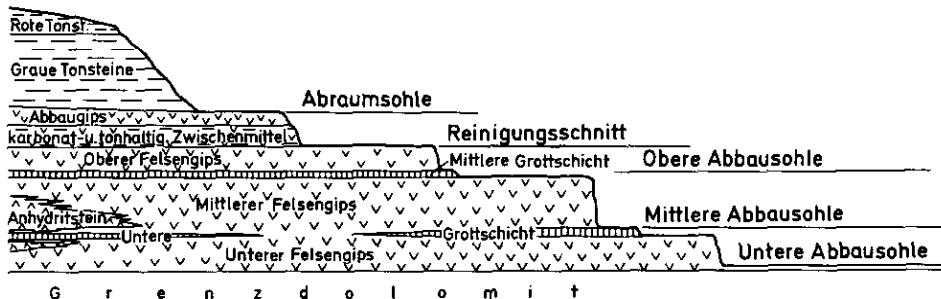


Abb. 6. Abbauschema im Grundgips Frankens (HERRMANN 1976): Abraumsohle und verschiedene Abbausohlen in Anpassung an die Grottschichten; „Reinigungsschnitt“: teils erforderliche Abtrennung primär oder sekundär tondurchsetzter Gipslagen.

Die Gewinnung des Gipssteines erfolgt durch Sprengung. Lade- und Transportfahrzeuge bringen das Haufwerk zur Brechanlage (grubennah oder zentral). Die Weiterverarbeitung erfolgt in modernen Werksanlagen.

Die Gipslager werden bis in den Übergangsbereich zum Anhydritkörper, der sich lagenweise mit dem Gips verzahnt, abgebaut. Die Gewinnung findet ihre Grenze etwa dort, wo durch zunehmende Anhydritgehalte des Schichtstoffes die Reinheitsgrade des Rohgutes auf ein nicht mehr tragbares Maß (z. B. < 80% Gipsgehalt) zurückgehen. So beginnt man etwa südlich Endsee in gewissem Umfang in untertägigen Örter-(Pfeiler-)Bau überzugehen, um die Lagerstätten restlos zu nutzen.

Das gebietsweise im Bereich des wasserleitenden Grenzdolomits angeschnittene Grundwasser wird über eine Sumpfmulde problemlos auf dem gewünschten Stand gehalten.

Es sei erwähnt, daß die fast durchweg im Bereich ackerbaulicher Nutzung liegenden Gipstagebaue nach Beendigung des Abbaus durch Wiederauffüllung in landschaftsgerechter Weise rekultiviert werden. Die Wiedernutzung folgt der Abbaufront stetig und findet sehr häufig ein gegenüber den nährstoffarmen, flachgründigen Plattengipsböden wesentlich verbessertes Substrat vor.

## Verwendung

**Anhydrit:** Der Gips-Anhydrit von Döhlau findet Verwendung als Zuschlagstoff für Zement (Abbindeverzögerer). Er wird dem Zementklinker meist in Anteilen von 4–6% zugesetzt. Die Lieferung erfolgt an die ostbayerischen Zementwerke, die das Material per LKW abholen. Der Anhydrit von Hüttenheim findet Verwendung in der Zementindustrie (wie oben), vor allem aber als „Bergbauanhydrit“ (auf 0–8 mm gemahlen; vielseitiger Einsatz bei Ausbaumaßnahmen). Die Verfrachtung erfolgt ab Marktbreit per Schiff. Zunehmende Bedeutung erlangt der Rohstoff (fein gemahlen) bei der Herstellung von Fließestrich.

**Gips**: Die Rohgipse werden in den meist in der Nähe längerlebiger Gewinnungsstellen gelegenen Werken (Iphofen I und II, Neuherberg, Hartershofen, Bad Windsheim und Sulzheim) durch Brennen in Drehöfen bei verschiedenen hohen Temperaturen gebrannt (z. B. zu „Stuckgips“). Die so hergestellten Ausgangsstoffe werden zu bauwirtschaftlichen Produkten des Innenbaus in vielfältiger Art weiterverarbeitet. Sie können hier – um das Detail zu vermeiden – nur grob zusammengefaßt werden. Bauplatten und Bauelemente verschiedenster Ausführungen (Ausgangsmaterial: Stuckgips), Putzgipse und zahlreiche andere Spezialmassen auf Gipsbasis.

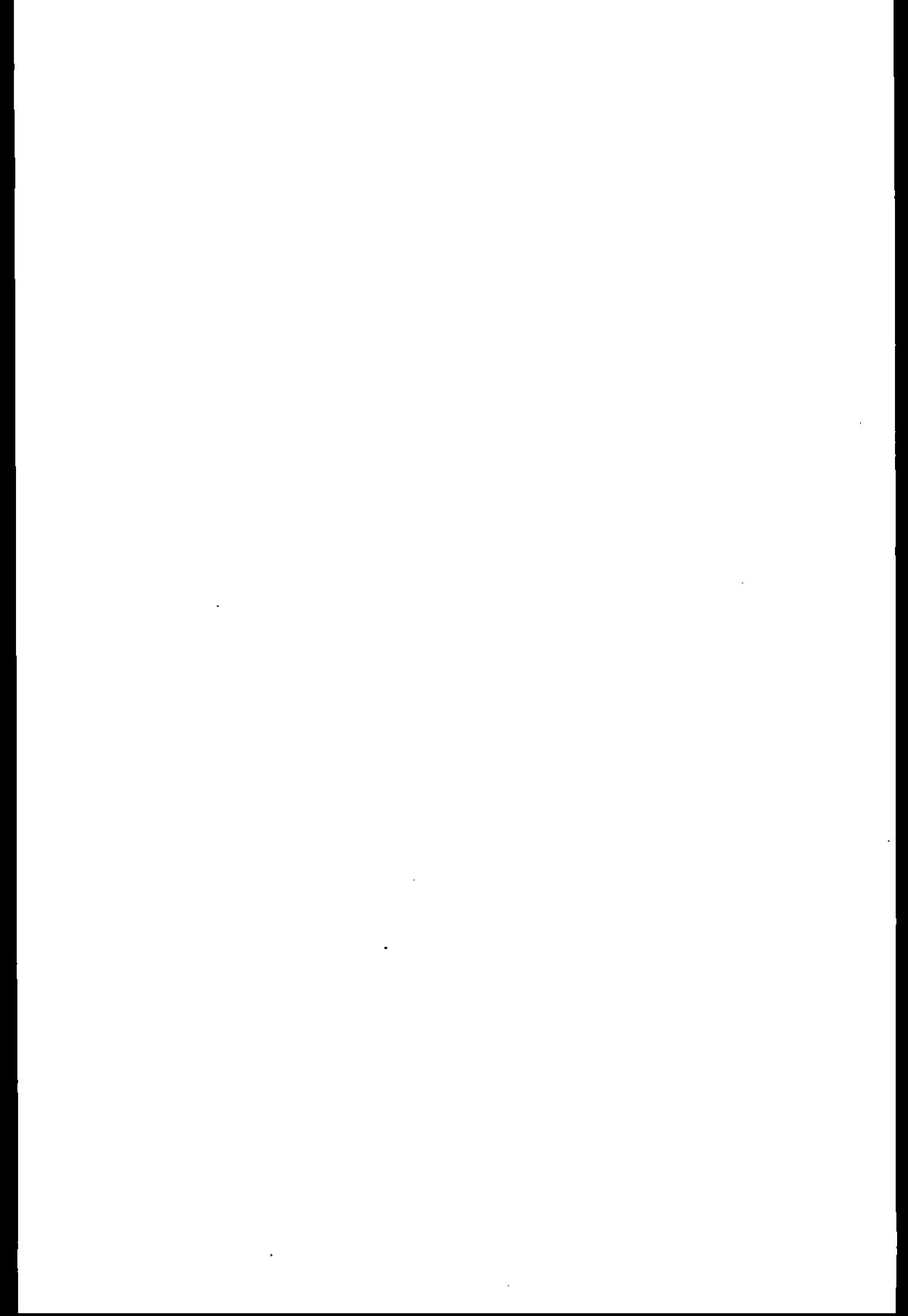
Eine spezielle Anwendung besonders reinen Rohgipses (z. B. Lagerstätte Künsheim) liegt im Brennen von „Hartgips“ (hohe Festigkeit, geringe Porosität) und „Modellgips“ (geringe Festigkeit, hohe Porosität), deren variable Mischungen als Endprodukt Formengipse ergeben. Diese werden vor allem von der keramischen Industrie (z. B. Porzellanfabrikation) benötigt.

**Dank**: Für die entgegenkommende Unterstützung bei der Datenermittlung sei den Firmen Gyproc/Steinsfeld, Heidelberger Zement/Bad Windsheim und Döhlau sowie Gebr. Knauf/Iphofen herzlich gedankt.

## Literatur

- ANRICH, H. (1958): Zur Frage der Vergipsung in den Sulfatlagern des Mittleren Muschelkalks und Gipskeupers in Südwestdeutschland. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 106: Stuttgart.
- ARNDT, H. (1933): Erläuterungen zum Blatt Windsheim(Nr. XXII) der Geognostischen Karte von Bayern 1:100 000, Teilblatt Windsheim. – München (Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt).
- EMMERT, U. (1977): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6035 Bayreuth. – 180 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HAUNSCHILD, H. (1976): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6327 Markt Einersheim und zum Blatt Nr. 6427 Uffenheim. – 139 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HENKE, K. F. & HILLER, M. (1982): Gipskeuper als Baugrund – eine ingenieurgeologische und geotechnische Studie zu Problemen im Hoch-, Straßen- und Tunnelbau und ihren geologisch-mineralogischen Ursachen. – 80 S., Oberndorf a. N.
- HERRMANN, A. (1976): Gips und Anhydrit. – In: HAUNSCHILD, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6327 Markt Einersheim und zum Blatt Nr. 6427 Uffenheim: 104–117, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- HERRMANN, A., DAVID, B., LANDGRAF, E. & RICHTER, M. (1976): Zur Rekultivierung von Gipssteinbrüchen – erläutert am Beispiel des fränkischen Keupers. – Zement, Kalk, Gips, 29 (6): 263–268, Wiesbaden.
- HERRMANN, A. & MÜLLER, P. (1980): In: LANDKREIS KITZINGEN [Hrsg.]: Der Landkreis Kitzingen: 263–268, Kitzingen.
- (1984): Die Nutzung der Bodenschätze . – In: LANDKREIS KITZINGEN [Hrsg.]: Der Landkreis Kitzingen: 363–368, Kitzingen.
- HERRMANN, A. & RAUEN, U. (1974): Montageologische Probleme der Gewinnung von Gips- und Anhydritgestein. – Schr. GDMB, 25: 97–114, Clausthal-Zellerfeld.
- (1976): Lagerstätten, Abbau und Rekultivierung fränkischer Gipsvorkommen. – Erzmetall, 29: 53–58, Stuttgart.

- HERRMANN, A., SÜRG, W., WAGNER, K. & WAND, H. (1983): Iphofen – Geologie und Gipsindustrie. – In: STADT IPHOFEN [Hrsg.]: Iphofen, eine fränkische Kleinstadt im Wandel der Jahrhunderte: 15 S., Iphofen.
- HOFFMANN, K. (1986): Die lithographische Gliederung der Myophorienschichten des Mittleren Keupers in der tonigen Beckenfazies des nördlichen Süddeutschlands. – *Geologica Bavarica*, **89**: 179–188, München.
- LUCAS, G. (1985): Die Entstehung der deutschen Gipslagerstätten und ihre Eignung für Formengipszwecke. – *Beil. Keram. Z.*, **37** (7): 3 S., Freiburg i. Br.
- (1986): Gipsstein und Gipsmörtel als Baustoffe im alten Windsheim. – *Der Stukkateur*, 1987 (8): 27–32, Geislingen.
- REIMANN, M. (1984): Die unterschiedliche Vergipsungsbereitschaft permischer und triadischer Sulfatvorkommen – dargestellt an ausgewählten Beispielen mit neuen Hinweisen auf die Lagerstättenprospektion. – *Z. dt. geol. Ges.*, **135**: 437–460, Hannover.
- (1986): Vergipsung und Volumenzunahme im fränkischen Keuper-Grundgips. – *Nachr. dt. geol. Ges.*, **35**: 65–66, Hannover.
- SCHUSTER, M. (1936): Gips (Gipsstein) und Alabaster. – In: BAYERISCHES OBERBERGAMT [Hrsg.]: Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns. – II. Bd.: Franken, Oberpfalz und Schwaben nördlich der Donau: 358–370, München (Oldenbourg und Piloty & Loehle).
- SCHWARZMEIER, J. (1981): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6027 Grettstadt. – 126 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- TRAUB, F. (1964): Gips und Anhydrit im Gipskeuper von Bäd Windsheim/Mfr. – *Geol. Bavarica*, **53**: 29–35, München.
- WETZEL, D. (1981): Die Gips-Anhydrit-Lagerstätte Döhlau bei Bayreuth und ihr geologischer Rahmen. – Unveröff. Dipl.-Arb. Freie Univ. Berlin: 183 S., Berlin.



## Dachschiefer

Von HERMANN WEINIG

Mit 2 Abbildungen

Im fränkisch-thüringischen Schiefergebirge hat der Abbau von Dachschiefer eine jahrhundertealte Tradition. Auf bayerischem Gebiet erreichte dieser Bergbau allerdings nie den Umfang der wahrscheinlich bis ins 12. Jahrhundert rückreichenden Dachschiefergewinnung in Thüringen, die bei Lehesten und Probstzella seit langem zu einer bedeutenden Industrie entwickelt ist (vgl. SCHUBERT 1968; SCHUBERT & STEINER 1971). Angeregt durch diese Abbauzentren wurden auch im Frankenwald schon früh (z. B. Eisenbühler Schiefer seit 300 Jahren) Tonschiefer verschiedener Altersstellung durch Abbaue und Abbauversuche auf ihre Verwertbarkeit als Dachschiefer erkundet. Nur wenige Vorkommen dienen jedoch gewerblicher Nutzung in nennenswertem Umfang.

Nach dem Kriege führte die Abtrennung der thüringischen Lagerstätten zu gewissen Aufsuchungs- und Abbauaktivitäten im Frankenwald. So wurden zu Beginn der 50er Jahre vor allem die bereits im vorigen Jahrhundert betriebenen Gewinnungsstellen neu aktiviert. Jedoch ließen Ausbildung und Vorkommen der Dachschiefer ihre wirtschaftliche Gewinnung auf Dauer nicht zu. Die Untertageförderung wurde bei Ludwigstadt 1960, in Eisenbühl 1953 und in Tiefengrün 1959 eingestellt (vgl. DILL 1981; WEINIG et al. 1984).

Als einzige bayerische Schiefergrube hat sich allein der Bergbaubetrieb bei Lotharheil gehalten.

### Unternehmen, geographische Lage

Betreiber der Schiefergrube Lotharheil ist die Firma Schieferwerk Lotharheil, Gustav Teichmann, Geroldsgrün (Inhaber: Manfred Teichmann). Die Belegschaft des Betriebes (Förderung und Verarbeitung) besteht derzeit aus 4 Mann.

Vorläufer der heutigen Untertagegrube waren Tagebaue, die auf das „Dürrenwaider Dachschieferlager“ (Abb. 1) beiderseits des Ölsnitztales (Bruch südwestlich Dürrenwaiderhammer, r 68 130, h 79 900; Brüche nordwestl. Dürrenwaiderhammer, r 68 220, h 80 120 und r 68 360, h 80 230) sowie am Westhang des Hahnenkammes (r 67 830, h 78 920) angelegt waren.

Unmittelbar südlich des letztgenannten Tagebaues eröffnete Graf LOTHAR von FABER 1856 ein untertägiges Schieferbergwerk (Lotharheil), das 1904 in den Besitz der Firma Teichmann überging, die den Bergbau heute in der vierten Generation betreibt.

### Geologie, Lagerstätte, Rohstoff

Die Steinbrüche des Dürrenwaider Dachschieferlagers sind bereits bei v. GÜMBEL (1879: 551) beschrieben. Das Lager selbst wurde durch v. HORSTIG (1966) auf eine streichende Länge von 2,5 km auskartiert. Die folgenden geologischen Angaben sind seiner Darstellung entnommen.

Das Dachschieferlager von Dürrenwaid ist eine Einschaltung innerhalb einer mächtigen Bordenschieferserie des Unterkarbon. Das NE streichende Lager fällt in Lotharheil mit  $45^{\circ}$  nach NW ein und besitzt dort eine Mächtigkeit von 15 m. Es wird durch einen ca. 1,50 m mächtigen Quarzkeratophytuff in ein hangendes und ein liegendes Schieferlager geteilt. Im Gegensatz zu den alten Tagebauen ist in der Grube Lotharheil die Schiefergewinnung auf den ca. 11 m mächtigen Liegenteil beschränkt. Die hangenden Schiefer bleiben wegen ihrer geringen Mächtigkeit (ca. 3 m) bzw. wegen des vorgesetzten Tuffes unverwittert.

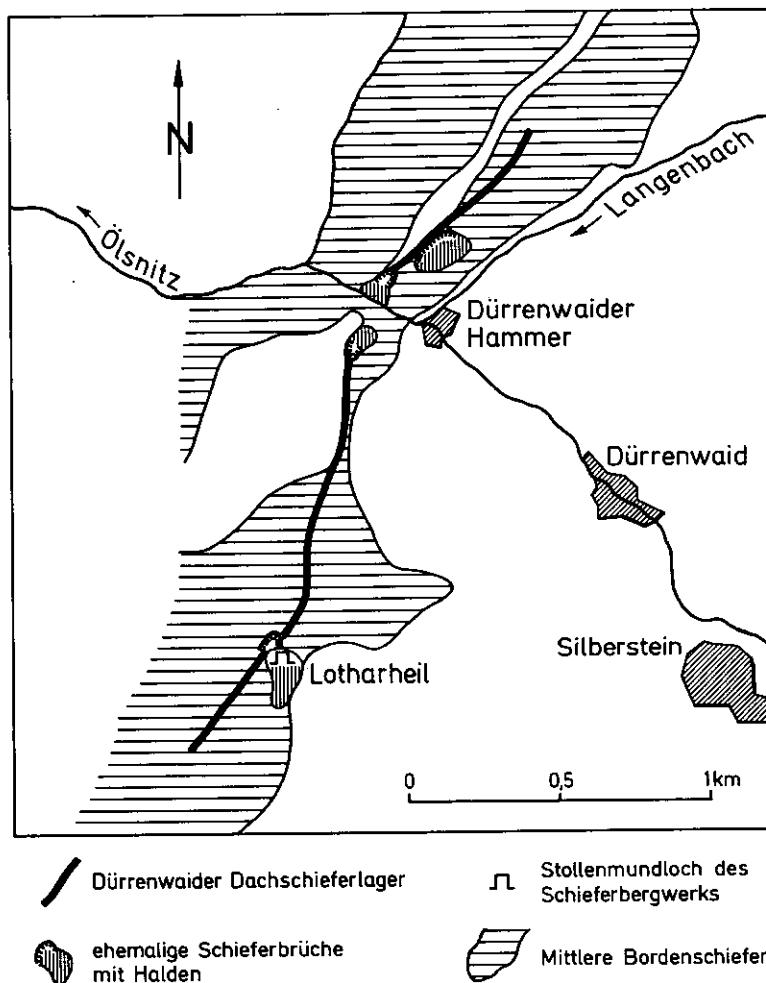


Abb. 1. Verlauf des „Dürrenwaider Dachschieferlagers“ innerhalb der Mittleren Bordenschiefer, mit Gewinnungsstellen (nach v. HORSTIG 1966).

Eine Aufgliederung des in der Schiefergrube Lotharheil aufgeschlossenen Schichtenstoßes ist in Abbildung 2 wiedergegeben. Die aus der Praxis der Schiefergewinnung vorgenommene Profilansprache sowie die Angaben zur Verwertbarkeit des Materials beziehen sich auf Unterlagen bzw. mündliche Erläuterungen durch Herrn M. TEICHMANN.

Der Dachschiefer von Dürrenwaid bzw. Lotharheil ist ein „normaler“ Tonschiefer Frankenwälder Ausbildung, bestehend aus Muskovit bzw. Serizit, Chlorit und Quarz in wechselnden Anteilen sowie kohligem Pigment, das die dunkelblaugraue bis schwarze Färbung verursacht. Der Schiefer ist frei von qualitätsmindernden Sulfiden, bituminösen Beimengungen oder Karbonat, was seine Wetterbeständigkeit garantiert.

Entscheidend für die Verwertbarkeit des Tonschiefers ist jedoch die Ausbildung seiner Spaltbarkeit, die von der Schieferung des Gesteins und ihrer Raumlage zur Schichtung sowie vom Vorhandensein siltiger Feinschichtung abhängt. Schieferung und Schichtung sind in Lotharheil annähernd parallel gerichtet oder weichen nur wenige Grad voneinander ab, was im allgemeinen einer guten Teilbarkeit des hier in der Schichtung spaltenden Steines förderlich ist.

Die Schiefer sind von Querklüften durchzogen, die bereichsweise eng geschart auftreten und dann die Verwertbarkeit des „schnittigen“ Materials beeinträchtigen. Jedoch erlauben daneben Partien mit weiten Kluftabständen häufig auch die Gewinnung größerer Schieferblöcke ( $> 1 \text{ m}$ ).

Siltfreie Schieferlagen guter Spaltbarkeit treten in Lotharheil vor allem innerhalb des Mittelteils (3,5–4 m) des in Abbau stehenden Schichtenstoßes auf (Abb. 2). Diese Schiefer besitzen auch die übrigen für Dachschiefer geforderten Eigenschaften: Sie sind trotz hoher Festigkeit (Klingen beim Anschlagen) nicht spröde, d. h. sie lassen sich senkrecht zur Tafelfläche gut bearbeiten und splittern nicht beim Nageln.

Dagegen sind die Schiefer des oberen und unteren Profildrittels durch engständige Lagen feinsten Quarzkorns gekennzeichnet. Der Stein nimmt dann im Querbruch (bzw. im Anschnitt) eine zarte Bänderung an: er ist siltig-bordig (typische Bordenschiefer, die das Dachschieferlager hangend und liegend umgeben, zeigen deutliche feinstsandig-siltige Bänderung, die beim angewitterten Stein simtsartig, „bordig“ hervortritt). Die feinklastischen Zwischenlagen verhindern im allgemeinen eine dachschieferartige Spaltbarkeit. Sie begünstigen plattige Absonderung.

Nähere Untersuchungen der physikalisch-technischen Eigenschaften bayrischer Dachschiefer liegen dem Verfasser nicht vor. Jedoch lehrt die Praxis, daß die üblicherweise an Naturwerkstein gestellten Anforderungen von „Frankenwaldschiefer“ aus Lotharheil vollauf erfüllt werden. Zum Vergleich sei auf eine Zusammenstellung verschiedener technischer Merkmale der petrographisch vergleichbaren Dachschiefer aus Thüringen verwiesen (SCHUBERT & STEINER 1971). So wurden beispielsweise für Druckfestigkeiten senkrecht zur Schieferung Werte in der Größenordnung von 120 bis über 300 N/mm<sup>2</sup> ermittelt.

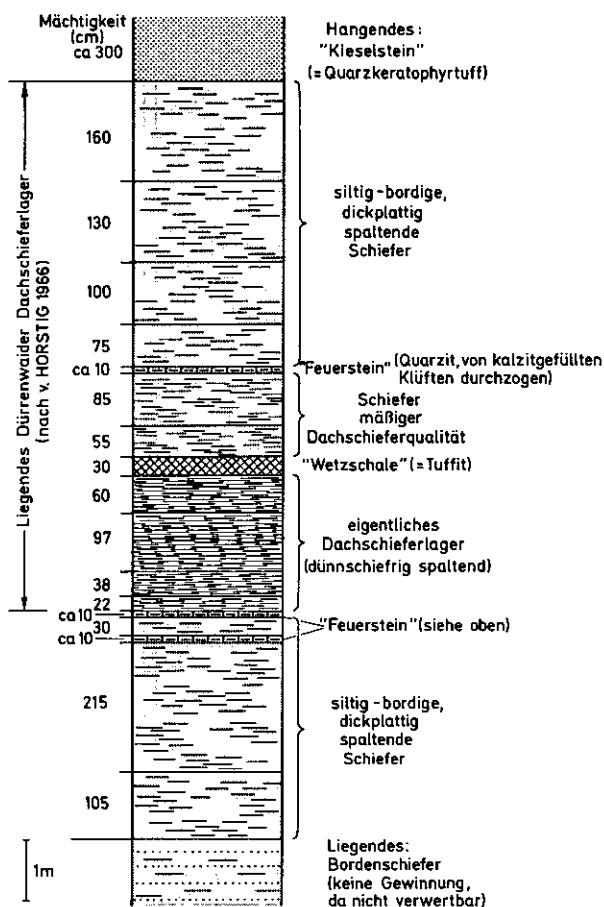


Abb. 2. Profil der Schiefergrube Lotharheil mit praxisbezogener Gesteinsansprache nach Angaben der Fa. TEICHMANN.

### Gewinnungstechnik und Förderung

Das Schieferlager ist durch einen zunächst querschlägig, dann im Streichen verlaufenden, söhligen Stollen aufgeschlossen, von dem aus die Schiefergewinnung im Firstenstoßbau umging. Von 1930 bis 1980 erfolgte die Hauptgewinnung im Unterwerksbau über einen im Lager einfallenden Förderberg, von dem aus Strecken bzw. Kammern vorgetrieben wurden.

Der heutige Abbau steht am Ende des ca. 400 m langen söhligen Streckenvortriebs, der das Schieferlager im Liegenden auffährt. Nach Ausweitung gegen das Hangende erfolgt der Abbau bis zu einer Firstenhöhe von etwa 12 m. Die Firste des Abbaus bilden der mit 45° einfallenden Keratophyr und der Stoß des stufig abbrechenden Schieferlagers. Derzeit besteht eine 30 m lange Kammer, die noch um etliche 10er-Meter zu erweitern ist, bevor eine Strecke zur Auffahrung der nächsten Kammer vorgetrieben wird.

Das Schiefergebirge bedarf keines Ausbaus. Das in geringen Mengen zusitzende Wasser läuft im freien Gefälle durch die Förderstrecke aus.

Die Schiefergewinnung erfolgt durch sorgfältige Schießarbeit. Der Schiefer löst sich z. T. in größeren Blöcken und dickplattigen Tafeln an Querklüften und bevorzugt ablösenden Schicht- bzw. Schieferungsflächen.

Der verwertbare Rohschiefer (wie auch der Abfall) wird über einen geleisgeführten Rollwagen je nach Materialbedarf zutage gefördert, da die Verarbeitung des Schiefers in bergfeuchtem Zustand erfolgen muß.

Die Förderung des Rohmaterials betrug 1986 500 bis 600 t (zum Vergleich: Förderung zwischen 1950 und 1980 ca. 23 000 t, nach DILL 1981). Die heutige Verarbeitung des Schiefers zu Plattenprodukten erlaubt eine Nutzung des ausgebrachten Materials von 35–50%. Der bei der Gewinnung und Verarbeitung anfallende Abfall (im Schieferbergbau auch: „Schutte“) überwiegt damit. Er wird auf Halde verkippt.

### Verwendung

Lange Zeit diente das Rohmaterial des mittleren Profilabschnittes zur Herstellung von Dachschiefern, die etwa 40–50% der Gesamtproduktion ausmachten. Die Dachschiefer wurden als ortsübliches Deckmaterial verwendet.

Mit dem Aufkommen neuen Baumaterials (z. B. Asbestplatten) ging die Dachschieferproduktion zurück, bis sie um 1960 aufgegeben werden mußte. Seither konzentriert sich die Verarbeitung des Schiefers ganz auf die Herstellung dickerplattiger Produkte, was der natürlichen Spaltbarkeit des Materials besser entspricht.

Der Schiefer von Lotharheil wird je nach Bedarf in Plattenstärken von 1 cm bis 20 cm verarbeitet und als heimischer „Frankenwaldschiefer“ einer vielfältigen Verwendung zugeführt. Ein Drittel des Materials wird in Form gebrochener Platten (z. B. als Belag für Gehwege, Terrassen oder als Trockenmauersteine) verwendet. Die Hauptproduktion besteht jedoch in der Herstellung gesägter Platten, wie z. B. Wand- und Fassadenplatten, Bodenplatten, Treppenbelägen, Fensterbänken, Abdeckplatten für Mauern oder Kamine, Grabplatten u. a. Das Hauptgewicht der Verwendung liegt im Außenbereich.

Die Verarbeitung von Frankenwaldschiefer macht etwa ein Drittel der Gesamtproduktion der Fa. Teichmann aus. Zwei Drittel der Schieferprodukte werden dagegen aus Importware (Portugal, Spanien) gefertigt. Die Verarbeitung des dünnspaltenden Steines ersetzt z. T. die Dachschieferherstellung aus ehemals heimischem Material.

Dank: Herrn MANFRED TEICHMANN sei für seine freundliche Hilfe und die Übermittlung bergbaulicher und betrieblicher Daten herzlich gedankt.

### Literatur

- BAYERISCHES OBERBERGAMT (1924): Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns. – I. Band: Frankenwald, Fichtelgebirge und Bayerischer Wald. – 220 S., München (Oldenbourg und Piloty & Lochle).
- DILL, H. (1981): Schieferbergbau im Frankenwald, Alaunschiefer – Dachschiefer – Mahlschiefer. – Bergbau, 32 (9): 591–600, Gütersloh.
- GÜMBEL, C. W. VON (1879): Geognostische Beschreibung des Fichtelgebirges mit dem Frankenwald und dem westlichen Vorlande. – 698 S., Gotha (Perthes).
- HORSTIG, G. VON (1966): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 5635 Nordhalben. – 168 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MÜLLER, F. (1979): Bayerns steinreiche Ecke. – Erdgeschichte – Gesteine – Minerale – Fossile von Fichtelgebirge, Frankenwald, Münchberger Masse und nördl. Oberpfälzer Wald. – 272 S., Hof/Saale (Oberfränk. Verlagsanst.).
- (o. J.): Internationale Naturstein-Kartei. – Konglomerate, Breccien, Sandstein, Kalksandstein, Schiefer, 6, Ulm (Ebner).
- SCHUBERT, R. (1968): Der Einfluß der Tektonik auf den Abbau und die Aufbereitung des thüringischen Dachschiefers. – Z. angew. Geol., 14: 520–525, Altenburg.
- SCHUBERT, R. & STEINER, W., (1971): Der Thüringer Dachschiefer, seine gesteintechnischen Eigenschaften und seine Verwendung als Werk- und Dekorationsstein. – Z. angew. Geol., 17: 47–55, Altenburg.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, WI. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden mit einer Karte 1:500 000. – Geologica Bavaria, 86: 563 S., München.
- WURM, A. (1961): Geologie von Bayern. Frankenwald, Münchberger Gneismasse, Fichtelgebirge, Nördlicher Oberpfälzer Wald. – 555 S., Berlin (Borntraeger).

## Farberden

Von REINHARD STREIT

Mit 1 Abbildung, 1 Tabelle und 1 Foto

Die in Bayern vorkommenden Farberden stellen intensiv gefärbte, erdig beschaffene Ablagerungen oder Tonhorizonte dar, deren färbende Substanz aus oxidischen, hydroxidischen oder silikatischen Eisenverbindungen besteht. Bei hohen Eisengehalten liegen stellenweise bereits Eisenerze vor. Auch Mangan kann als farbbestimmendes Element mitbeteiligt sein. Gelbe, braune und grüne Farberden sind durch synthetische Farben verdrängt worden. So ist der ehemals rege Bergbau auf den in der Kreidezeit entstandenen Farbocker eingestellt worden. Es handelt sich um Lagerstätten an der Basis von Kreidesedimenten auf dem verkarsteten Malm, mit den Hauptverbreitungsgebieten um Auerbach, Königstein, Neukirchen und Sulzbach.

Die roten tonigen Farberden heißen Rötel oder Bolus. Ihr Abbau ist seit etwa 350 Jahren in Nordostbayern bekannt.

### Unternehmen

Der Rötel von Troschenreuth wurde jahrhundertelang im bäuerlichen Nebenerwerb gegraben, zunächst sicherlich an Stellen, wo Rötelabsisse vorhanden waren. Später ging man zum Abbau in Schächten und kurzen Stollen über. Durch die Entwicklung der Abbautechnik ist man wieder zur Gewinnung im Tagebau zurückgekehrt. Dabei werden Abraummächtigkeiten bis etwa 10 m in Kauf genommen, um an das bestenfalls 2,5 m mächtige Rötelblöz heranzukommen. Derzeit teilen sich zwei Firmen den Abbau. Es sind dies die Firmen Hans Beyer in Steinamwasser, 8572 Auerbach und Manfred Habelitz in 8621 Mitwitz, Ortsteil Horb a. d. Steinach.

### Geographische Lage

Die Rötel-lagerstätte befindet sich bei Troschenreuth, östlich von Pegnitz, etwa 60 km nordöstlich von Nürnberg im Landkreis Bayreuth, Bergamtsbezirk Bayreuth.

### Geologie und Entstehung der Lagerstätte

Der Troschenreuther Bolus-Horizont stellt eine Tonschicht dar, die sich als Einlagerung im höheren Teil des marin gebildeten und vorwiegend aus Sandstein bestehenden Dogger-Beta der Fränkischen Alb und ihrer Umrandung feststellen lässt. Obwohl dieser Bolus-Horizont nicht nur in der Nördlichen Frankenalb

und ihrem Vorland zu finden ist, hat er nur in der Gegend von Troschenreuth und Gunzendorf eine ausreichende Mächtigkeit und Qualität erreicht, die den Abbau lohnt. Während der Bolus-Horizont westlich von Pegnitz unter Malmbedeckung verborgen liegt und dort in seinem unteren Teil als schokoladenbrauner Ton ausgebildet ist, wandelt sich das Bild östlich von Pegnitz. Durch Abtragungsvorgänge, die vermutlich bereits zur Kreidezeit eingesetzt haben und besonders im Tertiär sehr wirksam gewesen sind, ist der Bolus-Horizont zum Vorschein gekommen oder in die Nähe der Erdoberfläche gerückt. Durch Verwitterung und Oxidation ist der untere braune Bolus-Horizont in ziegelroten bis tiefroten Rötel umgewandelt worden. Dabei fand eine Oxidation des Eisens vom zweiwertigen in den dreiwertigen Zustand statt. Die Rotfärbung ist an eine alte Landoberfläche gebunden. Der Rötel stellt keinesfalls ein Äquivalent eines Eisenerzflözes dar, wie früher vermutet worden ist. Solche Erzflöze, die aus Ooiden aufgebaut werden, befinden sich jedoch in tieferen Lagen unter dem Bolus-Horizont. Der Eisengehalt des Rötels ist mit 7–12% gering. Unter der Rötellage ist normalerweise eine Limonitsandsteinplatte von 2 bis 20 cm Dicke ausgebildet, die als Bolus- oder Rötelplatte bezeichnet wird. Auch innerhalb des Rötellagers können Erzbänder in der Schichtung oder auch schräg dazu auftauchen. Unter der Rötelplatte liegt ein 10–14 m mächtiger, sehr mürber Sandstein, der von Limonit-Sandsteintrümmern durchsetzt ist (Schwartenhorizont). Über dem eigentlichen Rötel folgen dünnere Lagen von grauem oder ockerfarbenem bis hellgraugrünem Ton, der von mürbem Sandstein (Trennsand) überdeckt wird. Den Abschluß dieser Ton-Serie stellt eine graue bis braune Tonschicht dar (Discites-Ton).

### Lagerstätte

Die Rötschicht ist in der Mächtigkeit ziemlichen Schwankungen unterworfen. Maximal wurde bei Troschenreuth und Gunzendorf 2,5 m Rötel festgestellt. Roteisenerzbänder, die den Rötel unregelmäßig durchziehen und geröllartige Sandsteineinschlüsse können den Abbau stören. Die Rötelplatte an der Basis, die aus Limonitsandstein besteht, begünstigt das Befahren der Rötelgruben mit schwerem Gerät, da sie den Untergrund stabilisiert.

Derzeit bestehen zwei Rötelgruben nordöstlich von Troschenreuth, die eine 1,5 km, die andere 1,4 km nordöstlich der Kirche. In der näher gelegenen Grube ruhte zuletzt der Abbau vorübergehend. Zwei weitere Rötelgruben sind südlich von Troschenreuth zu finden. In der einen Grube, 800 m südsüdwestlich der Kirche, ruhte zuletzt ebenfalls der Abbau. In der anderen Grube, 400 m südwestlich von Mühldorf, schreitet der Abbau bei rund 10 m Abraum nach Norden voran (s. Taf. 8: Foto 1).

Die Fördermengen an Farberden (Ocker, Farberde, Bolus) in Bayern im Zeitraum 1936–1984 sind der Abb. 1 zu entnehmen.

### Beschaffenheit des Rötels

Der Rötel stellt im bergfrischen Zustand einen sehr zähen, tiefroten bis dunkelrotbraunen Ton dar, der dem Abbau ziemlichen Widerstand entgegensezert.

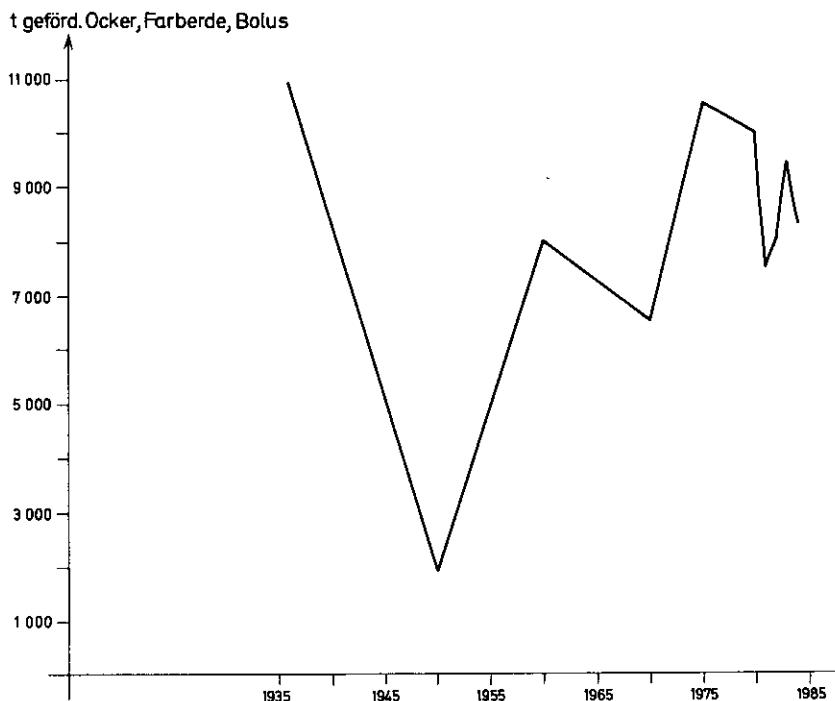


Abb. 1. Förderung von Farberden (Ocker, Farberde, Bolus) im Zeitraum 1936–1984.

Die Rotfärbung ist in der Hauptsache durch Eisenoxid bedingt, weniger durch Eisenhydroxid. Östlich von Troschenreuth, gegen Sassenreuth, nimmt der Rötel eine mehr violettrote Farbe an, die auf einen erhöhten Mangangehalt zurückgeführt wird.

Nach einer Analyse bei v. FREYBERG (1961) wurde an einer Probe von Troschenreuther Rötel folgende Zusammensetzung festgestellt: 51% Tonminerale, 35,8% Quarz, 10,8% Orthoklas, 2,4% Albit. Der gleiche Autor gibt Brennproben von Troschenreuther Rötel an. Bei der Ausgangsprobe handelte es sich um dunkelrotbraunen Bolus. Nach dem Erhitzen auf 750° C (SK 016) und 940° C (SK 01a) war die Farbe jeweils noch die gleiche. Nach dem Brennen bei 1410° C (SK 14) war die Farbe schwarz mittelglänzend. Dieser Rötel ist für Klinker geeignet. Die ungefähre chemische Zusammensetzung kann aus Tabelle 1 abgelesen werden.

### Gewinnungstechnik

In früherer Zeit, als der Rötel noch in Schächten und kurzen Stollen abgebaut wurde, dienten einfache Haspeln zum Hochziehen der Kübel an die Erdoberfläche. Der Transport erfolgte zunächst mit Pferdefuhrwerken. Mit der Weiterentwicklung des Stollenabbaus wurde später eine Feldbahn eingerichtet, die für geraume Zeit eine Verbindung zum Bahnhof Schnabelwaid herstellte.

Tabelle 1: Chemische Zusammensetzung des Troschenreuther Rötsels in %

	a) Rötel Beyer	b) Rötel Habelitz	c) Troschenr. Rötel	d) brauner Ton
Glühverlust	6,96	9,31	7,31	5,6
SiO <sub>2</sub>	58,65	53,10	56,22	60,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,03	18,40	21,68	18,6
TiO <sub>2</sub>	1,0	0,14	1,20	n. b.
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,69	16,98	10,75	9,0
CaO	0,11	0,16	Spuren	1,9
BaO	n. b.	0,21	—	n. b.
MgO	0,53	0,12	0,75	3,0
K <sub>2</sub> O	1,81	1,46	1,82	n. b.
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,15	0,29	n. b.
	100,01	100,03	100,02	99,0

a) Mittelwerte aus 2 Analysen von Rötel der Fa. Beyer.

b) Analyse eines Rötsels der Fa. Habelitz, ausgeführt vom Chemischen Laboratorium Kall, Ettlingen.

c) Analyse eines Troschenreuther Rötsels, ausgeführt von der Staatlichen Porzellan-Manufaktur Berlin, Werk Selb, 1953.

d) Schokoladenbrauner Ton des Rötelhorizonts (frisch, nicht verfärbt) aus der Bohrung Friedrich IV (aus v. FREYBERG, 1951). Analyse: P. SCHNEIDERHÖHN.

Heute ist man zum Rötelabbau im Tagebau übergegangen, wobei wendige und leistungsstarke Kettenlader und Bagger benutzt werden. Der Transport erfolgt mit dem Lastkraftwagen und mit der Bahn.

## Verwendung

Troschenreuther Rötel dient heute in erster Linie zum Färben von Tonen, die zur Herstellung keramischer Produkte wie Wandfliesen, Mosaikplättchen und Bodenplatten verwendet werden. Geschwunden ist die Bedeutung des Rötsels für die Herstellung von Siegellack, Linoleum, Deckfarben für Spiegel und als Zusatz für Putzpasten. Bei der Polimentvergoldung wird Rötel als Vergoldungsuntergrund aufgetragen.

## Literatur

- BARTHEL, W. (1981): Abbau und Verarbeitung von Farberden im Einzugsbereich des oberen Pegnitztales. – Frankenland, N. F. 33: 146–152, Würzburg.
- BAYERISCHES OBERBERGAMT [Hrsg.] (1936): Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns. II. Bd.: Franken, Oberpfalz und Schwaben nördlich der Donau. – 512 S., München (Oldenbourg und Pilony & Loeble).
- DORN, P. (1929): Die Farberdelagerstätten Bayerns. – 65 S., München (Pilony & Loeble).
- FREYBERG, B. v. (1951): Zur Stratigraphie und Fazieskunde des Doggersandsteins und seiner Flöze. – Geologica Bavaria, 9: 108 S., München.
- (1961): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25 000, Blatt Nr. 6235 Pegnitz. – 207 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. – Geologica Bavaria, 86: 563 S., München.

## Traß

Von HERMANN WEINIG

Mit 1 Abbildung und 1 Foto

Traß ist ein Rohstoff, der feingemahlen bei normaler Temperatur durch Reaktion mit Calciumhydroxid hydraulisch erhärtet. Ein solches Verhalten weisen vor allem vulkanische Tuffgesteine auf. Nach den schon im Alterum verwendeten Tuffen von Pozzuoli bei Neapel nennt man diese Rohstoffe auch Puzzolane. Puzzolanische Eigenschaften besitzen aber auch die Suevite in der Umgebung des Nördlinger Rieses, weshalb diese Gesteine in Deutschland neben dem „rheinischen Traß“ des Laacher-See-Gebietes als „bayerischer Traß“ (technische Bezeichnung) industriell genutzt werden.

Nach mehreren Versuchen in der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts, bayerische Traßvorkommen in der Bauindustrie zu nutzen, wird Suevit in größerem Umfang erst in den Jahrzehnten nach dem 2. Weltkrieg von der Firma Märker Zementwerk GmbH, Harburg, in einem Steinbruch 800 m westlich Otting (östlicher Riesrand) abgebaut. 1987 wird eine weitere Gewinnungsstelle 1 km östlich Aumühle (Wörnitztal, Oettingen N) in Betrieb gehen. Seit 1986 betreibt die Firma E. Schwenk, Zement- und Steinwerke, Ulm, einen Traßabbau unweit nordwestlich des Weilers Seelbronn (1,5 km südlich Aufhausen, südwestlicher Riesrand).

### Entstehung und Geologie

Suevit entstand durch Stoßwellen - oder Impaktmetamorphose als Folge des Einschlags eines Großmeteoriten. Ausgangsgestein war kristallines Grundgebirge verschiedener Zusammensetzung. Durch Vorgänge wie Teilaufschmelzung, mineralogische Umwandlung und mechanische Zerrüttung bildeten sich bei hoher Temperatur polymikte, glashaltige Kristallinbreccien, die als Suevite definiert sind. Eine ausführliche Beschreibung dieser Gesteine bringt HÜTTNER (1977).

### Lagerstätten

Die als Auswurfmassen im Umkreis des gesamten Rieskessels auftretenden Suevite bilden isolierte Komplexe mit einer Ausdehnung von wenigen 10 m bis mehreren 100 m Durchmesser. Ihre Mächtigkeiten unterliegen starken Schwankungen. Die Mächtigkeiten größerer Suevitkörper bewegen sich häufig zwischen 10 m und 30 m. In der Nähe des Kraterrandes sind die mächtigeren Vorkommen zu vermuten.

Der Suevit tritt naturgemäß im Verband mit bunter Breccie auf, die ihn teilweise auch durchsetzt. Er überlagert sie teils mit scharfer Grenze, wird aber auch von ihr, wie auch von quartären Lehmen, überdeckt. Insofern können Suevitkomplexe – auch in Oberflächennähe – teils größere Ausdehnung besitzen als auf geologischen Karten dargestellt (allerdings wurden auch schon gegenteilige Erfahrungen gemacht).

Die im Umkreis des gesamten Rieskessels in zahlreichen Vorkommen auftretenden Suevite (Abb. 1; s. auch GALL et al. 1977: Karte) häufen sich im südwestlichen Vorries in der Umgebung von Amerdingen. Ihre Abbauwürdigkeit (Abgrenzung, Mächtigkeit und Rohstoffbeschaffenheit) ist im Regelfall erst durch Untersuchungsbohrungen zweifelsfrei festzustellen.

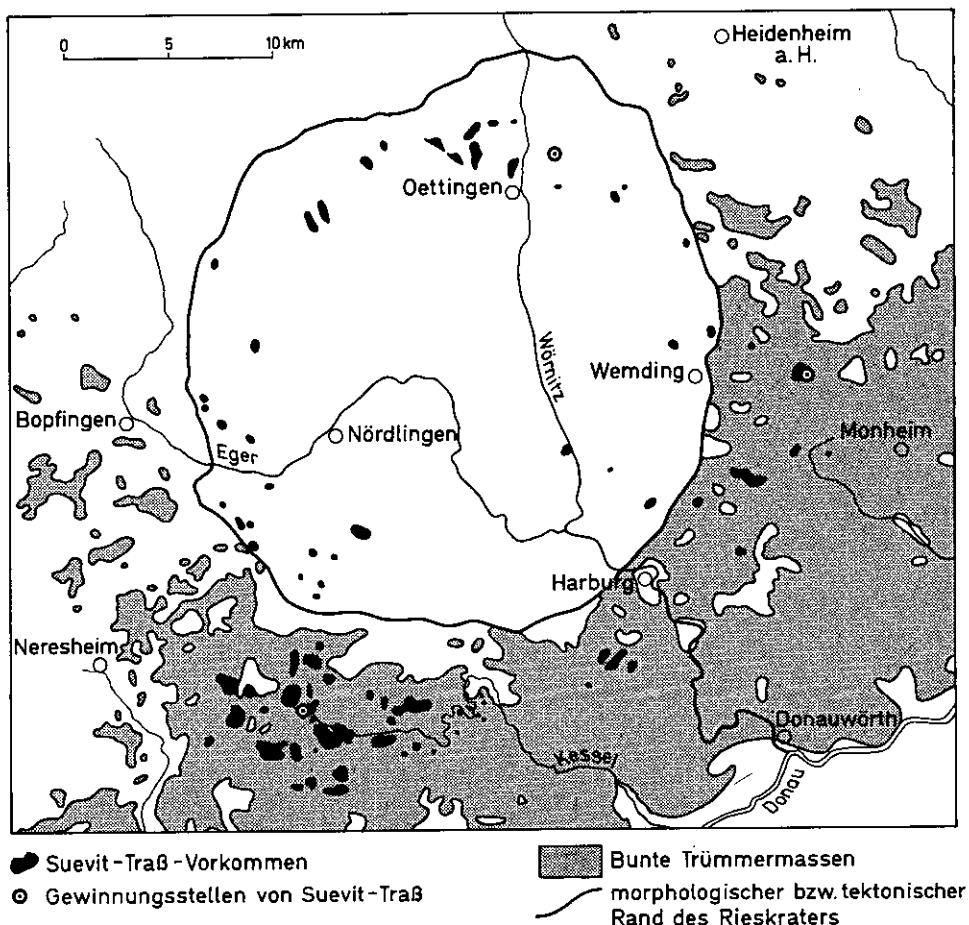


Abb. 1. Verbreitung der Suevit-Bruch-Vorkommen im Umkreis des Rieskraters (vereinfacht nach HÜTTNER 1977) und Gewinnungsstellen.

## Rohstoffbeschaffenheit

Suevit ist ein meist blaugraues, seltener braungetöntes, tuffartiges Gestein, das in äußerst feinkörniger (im Bereich der Schlämmfraktion liegender) Grundmasse brecciose Einschlüsse umgewandelter Kristallingesteine und feine bis handgroße, fladenartige Gesteinsgläser enthält. Je nach Anteil und Ausbildung von Grundmasse, größeren Gesteinsbruchstücken und Gläsern bilden die Suevite verschiedene Varianten, deren gemeinsamer Grundhabitus im Normalfall jedoch unverkennbar ist.

Den Untersuchungen von LUDWIG & SCHWIETE (1961) seien zur chemisch-mineralogischen Charakteristik der Suevite folgende Grenzwerte aus 5 untersuchten Proben (ohne Ortszuweisung) entnommen:

chemisch (Gew.-%)	mineralogisch (Vol.-%)
Glühverlust	6,4 – 8,8
SiO <sub>2</sub>	59,1 – 62,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,3 – 5,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,8 – 18,0
CaO	3,3 – 4,5, 1 Wert: 7,8
MgO	0,9 – 3,0
K <sub>2</sub> O	1,5 – 2,5
Na <sub>2</sub> O	1,7 – 2,2
Quarz	17 – 19
Feldspäte	15 – 18
Augit	< 1
Montmorillonit	0 – 6
Glas	55 – 66
in einer Probe auch:	
Glimmer, Illit	< 1
Kaolinit	3

Hydratwassergehalt (nach Glühen bei 1000° C): 2,9 – 6,0%

Suevit erfüllt die Anforderungen der Traß-Norm (DIN 51 043). Das hydraulische Bindevermögen des Suevits ist auf hohen Gehalt an glasiger Grundmasse zurückzuführen. Eine besondere Eigenschaft von „bayerischem Traß“ ist dabei seine langsame, jedoch lang anhaltende Festigkeitsentwicklung im Zement.

Das poröse, rauh brechende Gestein besitzt infolge unregelmäßiger Riß- und Trennflächenbildung (Taf. 8: Foto 2) und Zonen mäßiger Verfestigung sehr wechselhafte Festigkeiten. Trotzdem sind wegen einer gewissen Zähigkeit des Gesteines die an massive Werk- und Bausteine gestellten Anforderungen häufig erfüllt: Die Druckfestigkeiten verbauter Suevite bewegen sich in der Größenordnung von 40 N/mm<sup>2</sup>.

Die Rohdichte des Suevits wurde im Mittel mit 1,96 g/cm<sup>3</sup>, die Wasseraufnahme mit 7 – 8 Vol.-% ermittelt. Die Wetterbeständigkeit des Steines ist unterschiedlich. Sie ist teils durch Jahrhunderte alte Bauwerke dokumentiert. Andererseits sind Verwitterungsschäden an Bauteilen zu verzeichnen, die besonderem klimatischem Wechsel ausgesetzt sind oder aus unkritisch ausgewähltem Material bestehen. Der tuffartige Charakter des Gesteins erlaubt in Verbindung mit hinreichender Festigkeit eine gute Bearbeitung von Hand.

## Gewinnung und Verwendung

Traß wird seit römischer Zeit in Verbindung mit Kalkhydrat als hydraulisches Bindemittel, nach Erfindung des Portlandzementes in der Mitte des vori-

gen Jahrhunderts als Zementzusatz verwendet. Erst nach dem Krieg kam in Süddeutschland der „Suevit-Traß“-Zement, der am 20. August 1952 vom Bayer. Staatsministerium des Innern baupolizeilich zugelassen wurde, in den Handel.

In den Steinbrüchen bei Otting und Seelbronn (s. o.) wird Suevit mit derzeitigen Abbauhöhen von etwa 8 m ohne nennenswerte Abraumüberlagerung in Abbaufronten von jeweils ca. 200 m durch Sprengung gewonnen und per LKW in die Zementwerke nach Harburg bzw. Heidenheim/Mergelstetten gefahren. Nach dem Brechen auf Schottergröße und Trocknen wird das Material gemeinsam mit Portlandzementklinker nach normgerechtem Mischungsverhältnis (nach DIN 1164: 20–40% Traß zu 80 bis 60% Klinker) zu Traßzement vermahlen. Seine Mischung mit gebranntem Kalk ergibt Traßkalk. Weitere Produkte sind verschiedene Traßkalkmörtel, Traßkalkputze und Traßzementmörtel.

Suevit-Traß wird jährlich in einer Größenordnung von etwa 25 000 t gewonnen.

Suevit wurde im 15. bis Anfang des 18. Jahrhunderts im Bereich des gesamten bayerischen Nordschwabens und der angrenzenden Gebiete Württembergs von der Spätgotik bis zum Barock als Baustein verwendet. Die wichtigsten Bauwerke, in denen Suevit als derbes Quadermauerwerk oder in ornamentaler Weise verbaut wurde, sind durch STRAUB (1907) dokumentiert. Als bekanntestes Beispiel sei hier die Georgskirche mit Daniel in Nördlingen angeführt. Eine neuzeitliche Blüte erlebte der Stein bei der Ausführung größerer Verwaltungsbauten zu Beginn unseres Jahrhunderts in München und Augsburg.

Zur Renovierung dieser umfangreichen historischen Bausubstanz wird auch in neuerer Zeit wieder Suevit – aus dem Steinbruch Otting – verwendet. Vor allem die St.-Georgs-Bauhütte in Nördlingen gebraucht den Stein, und zwar in zweifacher Weise:

- a) zur Herstellung eines Suevit-Kunststeines: Hierbei wird gebrochenes Korn (bis ca. 3 cm) von Basalt, Jurakalkstein und Suevit unter Zusatz von Sand und Zement in feste Form gegossen. Das Produkt ähnelt dem Originalstein.
- b) Renovierungen mit dem Naturstein Suevit werden in der Regel bei kleineren Schadstellen vorgenommen, die man durch Einsetzen von Päßtücken (an Kanten) oder Vierungen (an Flächen) ausbessert. Für wichtige Bauteile werden auch größere Werksteine gefertigt. Künftig wird man auf diese dem Original besser gerecht werdenden Art der Renovierung verstärkt übergehen.

Die Verwendung von Suevit bei Renovierungsarbeiten ist ein wichtiger Anwendungsbereich, fällt jedoch mengenmäßig gegenüber seiner Nutzung durch die Zement- und Kalkindustrie nicht ins Gewicht.

Dank: Für technische Informationen danke ich den Herren J. LIEBEL, Fa. Märker, und G. WAAS, Fa. Schwenk.

### Literatur

- GALL, H., HÜTTNER, R. & MÜLLER, D. (1977): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Rieses 1:50 000. – *Geologica Bavaria*, 76: München.
- HÜTTNER, R. (1977): Impaktgesteine des Rieses. – In: GALL, H., HÜTTNER, R. & MÜLLER, D.: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Rieses 1:50 000. – *Geologica Bavaria*, 76: 108–158, München.
- LUDWIG, U. & SCHWIETE, H.-E. (1961): Das mörteltechnische, das chemische und mineralogische Verhalten von Traßzement- und Traßkalkgemischen. – *Mitt. Inst. Gesteinshüttenkd. Rhein.-Westf. Techn. Hochsch.*: 94 S., Aachen.
- STRAUB, C. (1907): Der Trachyttauff des bayerischen Rieses als Baustein. – 77 S., München (Humar).
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. Lagerstätten und Hauptverbreitungsgebiete der Steine und Erden. Mit einer Karte 1:500 000. – *Geologica Bavaria*, 86: 563 S., München.





Foto 1. Uranvererzung auf dem Gang 150 NW im Bereich des Querschlages N<sub>2</sub>E<sub>4</sub> auf der 450-m-Sohle im Untersuchungsbergwerk des Konsortiums Interuran (Operator), Esso und CEGB; Aufnahme der Firste. – Von links: Nebengestein (dunkel), Hämatitzone (rotbraun), Uranophan (gelb) mit Pechblende (schwarz), Quarz (violett) und Torbernit (grün). – Aufnahme: Interuran.



Foto 2. Firstenbild des Gangzugs „Hermine“; im zentralen Teil sich auffiedernder Baryt (rosa), beiderseits daneben gebänderter Flusspat; Nebengestein Granit. – Aufnahme: K. WEISS.

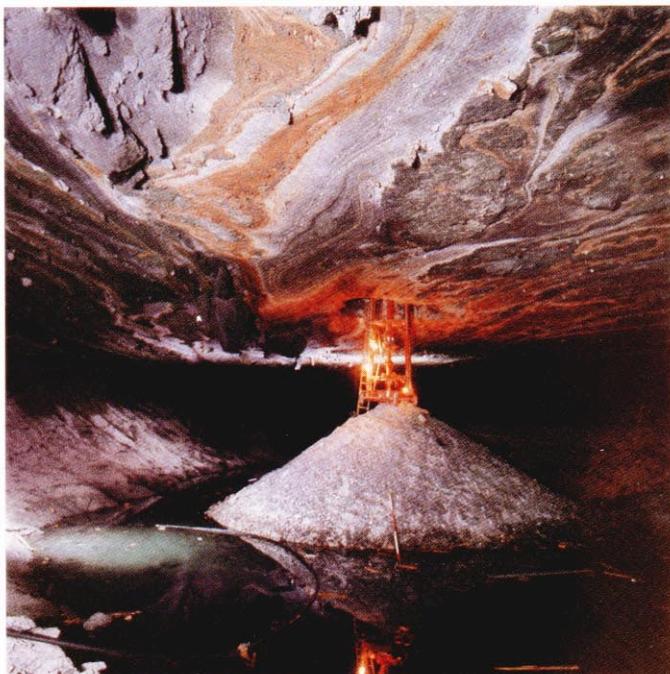


Foto 1. Bohrspülwerk im Salzbergwerk Berchtesgaden/Obb., mit farbiger Salzbänderung. – Aufnahme: Salzbergwerk Berchtesgaden 1987.



Foto 2. Sinkwerk im Salzbergwerk Berchtesgaden/Obb.; Ausschnitt eines Sinkwerkthimmels im Rotsalzgebirge mit Anhydrit und Polyhalit. – Aufnahme: Salzbergwerk Berchtesgaden 1987.

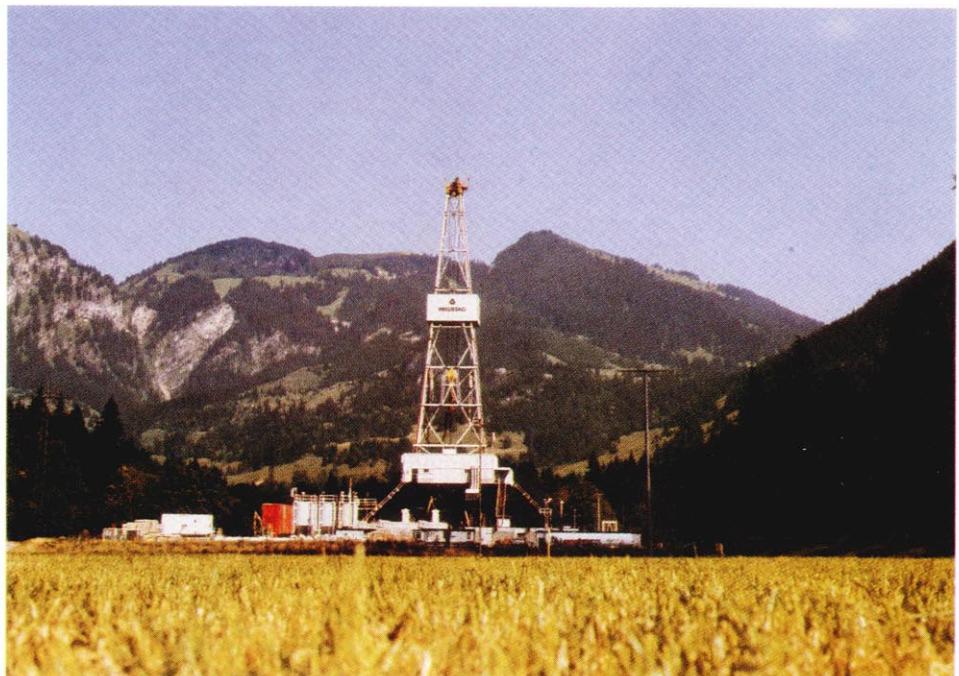


Foto 1. Bohrplatz Hindelang 1 in den Allgäuer Alpen mit der Bohranlage National 1320 UE. – Aufnahme: Preussag Archiv Hannover.



Foto 2. Mit den hangenden metatektischen Lagen südvergent verfaltetes Graphitflöz, randlich überschert. – Graphitbergwerk Kropfmühl, 9. Sohle Ost – Untersuchung 96, östlicher Stoß; Bildhöhe ca. 1 m. – Aufnahme: K.-H. GOHLA 1987.

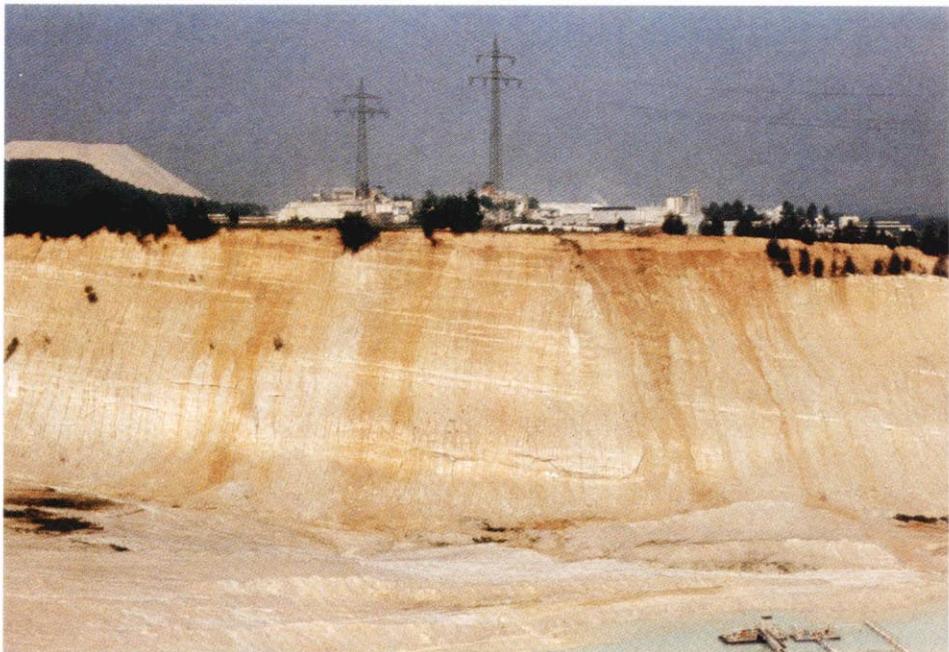


Foto 1. Mit 7° bis 10° gegen N einfallender kaolinisierter Mittlerer Buntsandstein im Tagebau Scharhof, Ostmarkscheide, Firma Gebr. Dorfner OHG, Hirschau; mit dem Werk der Firma und dem Monte Kaolino im Hintergrund links. – Aufnahme: F. ECKERT 1986.



Foto 2. Gewinnung von Kaolin im Tagebau der Firma E. Kick, Schnaittenbach/Opf., durch Ausspülung der Kaolinsubstanz aus dem Kulmbacher Konglomerat mittels eines hydromechanischen Verfahrens (Monitoring) bei 14 atü Druck und einem Wasserverbrauch von ca. 120 cbm/h. – Aufnahme: Werkfoto der Firma E. Kick 1983.



Foto 1. Ehemalige Bentonitgrube Sallmannsberg bei Landshut; Die Dachfläche des etwa 1,5 m mächtigen, gelbbraunen Bentonites liegt frei (Standort rechter Arbeiter); Liegendes: blauer, toniger Mergel (Standort linker Arbeiter); Hangendschichten: vorwiegend Kiese und Sande (ca. 25 m mächtig). – Aufnahme: Südchemie AG, München, 1982. – Heutiger Grubenzustand: verfüllt, rekultiviert, teils Schwalbenbiotop.

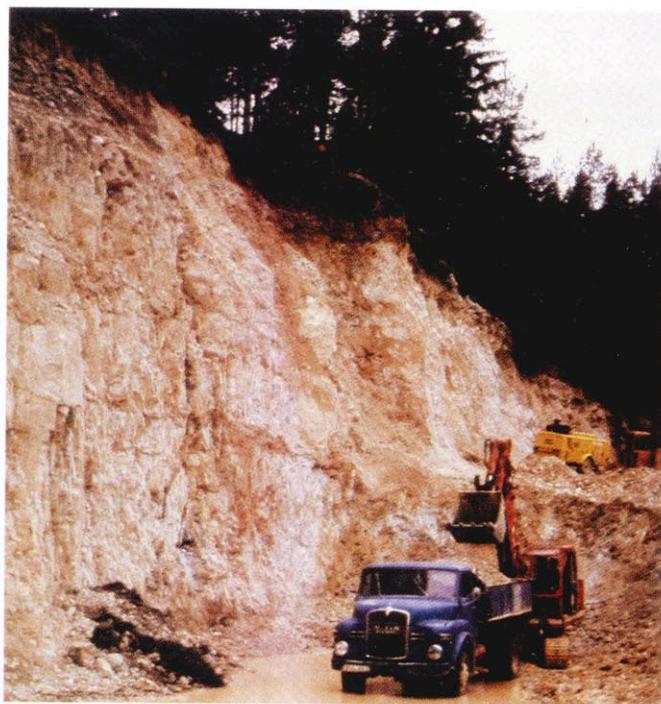


Foto 2. Quarzabbau am Pfahl bei Zuckenried. – Aufnahme: Wl. WEINELT 1987.



Foto 1. Abräumen von Sand zur Freilegung von Neuburger Kieselerde in der Grube Hütting, 7 km nordwestlich von Neuburg a. d. Donau; im Hintergrund bildet links Kieselerde die steile Grubewand, von rechts oben rutschen Decksedimente in die Grube. – Aufnahme: H. VIDAL 1979.



Foto 2. Gewinnung von Glassanden des Dogger-β nordwestlich von Gebenbach/Opf. – Tagebau Frohnhof der Asmanit- und Farbenwerke Dorfner & Co., Hirschau. – Aufnahme: F. ECKERT.



Foto 1. Specksteintagebau Johanneszeche Göpfersgrün, Oberer Tagebau – Westbruch Süd – Oststoß, mit Dolomitmarmor-Speckstein im Kontakt gegen den Marktleuthener Porphyrgrenit im oberen Bilddrittel; im Hintergrund die Aufbereitungsanlage. – Aufnahme: H. JAKOB 1986.

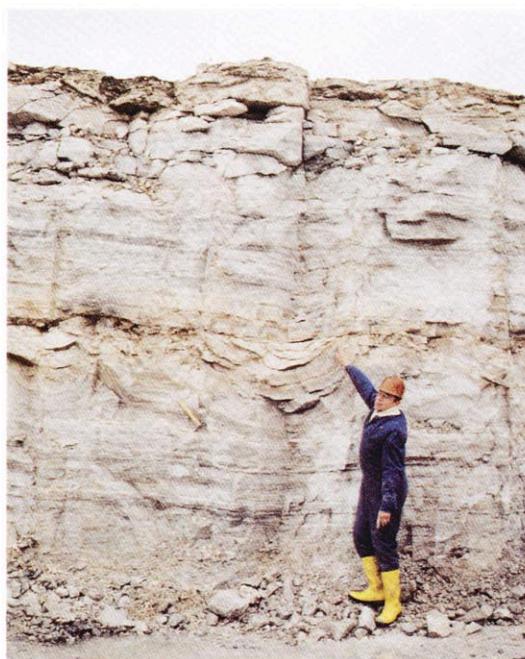


Foto 2. Gipstagebau Külsheim nördlich Bad Windsheim/Mfr.: hochprozentiger „Felsengips“ (bis 95% Gips; Rohstoff für Formengips); Grindlagen in der Mitte (diskordant über gefaltetem Gips) und oben. – Vgl. Profil in Abb. 3: 0–5 m. – Aufnahme: H. WEINIG 1987.



Foto 1. Rötelgrube Habelitz, etwa 1 km südlich Troschenreuth. – Grauer Ton (Discites-Ton) bildet die Überdeckung. Die Schichten fallen nach rechts in westlicher Richtung ein. – Aufnahme: H. GUDDEN 1984.

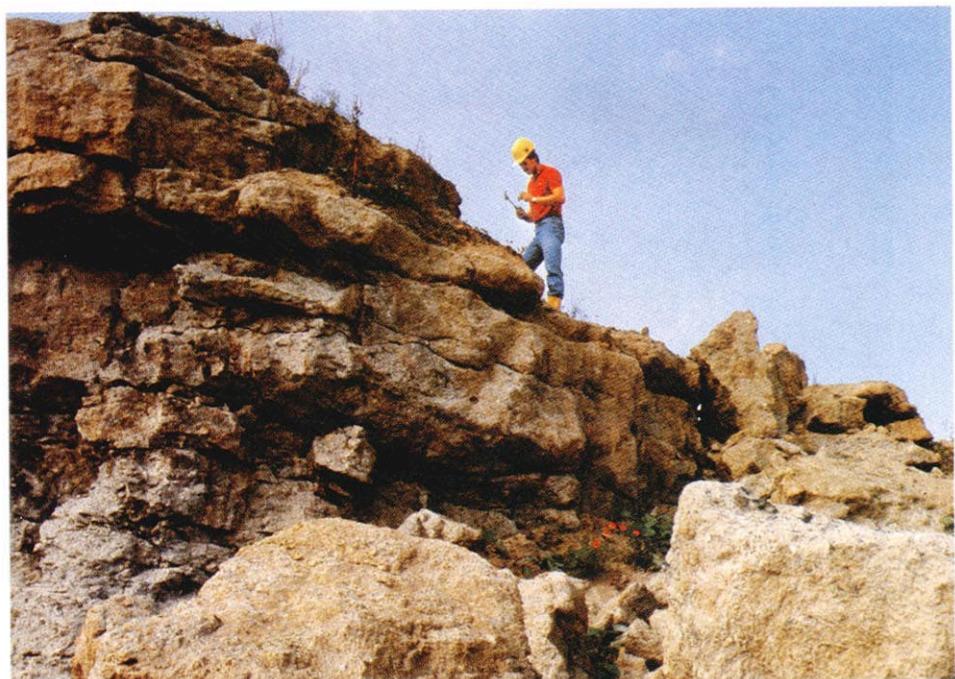


Foto 2. Traß im Steinbruch Otting; poröser, unregelmäßig rauh brechender Suevit mit angedeuteter Bankung. – Aufnahme: Fa. Märker Zementwerk GmbH.

## Längsschnittriss durch die Graphitlagerstätte Kropfmühl mit den geologischen Hauptstrukturen

