© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br., **102**, S. 37 - 92, Freiburg 2012

Schätze *unter* dem Boden: Was wissen wir über die tiefliegenden Rohstoffe in Baden-Württemberg?[1]

Wolfgang Werner

Kurzfassung

Baden-Württemberg verfügt nicht nur über hochwertige und große Lagerstätten von Steinen und Erden, sondern auch über industriell wichtige, oft ausgedehnte Vorkommen tiefliegender Rohstoffe: Steinsalz des Mittleren Muschelkalks, Kalisalz im Alttertiär des südlichen Oberrheingrabens, Eisenerzlager im Mitteljura, oberjura- bis tertiärzeitliche Hydrothermalgänge mit Flussspat und Schwerspat und daran gebundene Erze von Zink, Blei, Kupfer, Silber, Antimon, Uran u. a. Im Mittleren Muschelkalk und im Keuper auftretende Anhydrit- und Gipssteine sowie an Oberjura-Riffe gebundene hochreine Kalksteine werden sowohl in Steinbrüchen als auch in Bergwerken gewonnen. Von Untertage gefördert werden derzeit Steinsalz und Sole, Sulfatgesteine, hochreine Kalksteine, Schwer- und Flussspat sowie geringe Mengen von Silberfahlerz und von Kohlendioxid. Die Fördermengen schwankten in den letzten Jahren zwischen 5,8 und 6,5 Mio. t. Überraschende Erdölfunde im Oberrheingraben geben Hoffnung auf eine Renaissance der Kohlenwasserstoffexploration und -gewinnung. Dennoch wird sich das Land künftig nicht in nennenswertem Umfang mit Erdöl und Erdgas selbst versorgen können, auch Metallrohstoffe werden weiter importiert werden müssen. Unsere „Schätze unter dem Boden“ sind vor allem die Industrieminerale, Stoffe also, die kaum substituiert werden können und durch den industriellen

1. Erweiterte Fassung des gleichnamigen, am 27. Januar 2012 gehaltenen Vortrags im Rahmen der in Kooperation von der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg i. Br. und dem Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Ref. Landesrohstoffgeologie, durchgeführten Vortragsreihe: „Rohstoffvorsorge, Rohstoffsicherung“, November 2011 bis Februar 2012.

Anschrift des Verfassers:
Dipl.-Geol. Dr. Wolfgang Werner, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Regierungspräsidium Freiburg, Albertstr. 5, 79104 Freiburg i. Br.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Prozess – anders als die Metalle – verbraucht werden; eine kontinuierliche Versorgung mit diesen mineralischen Rohstoffen ist daher von großer Bedeutung. Im Beitrag werden sie zusammenfassend vorgestellt. Zwei Rohstoffgruppen sind besonders wichtig: Steinsalz sowie Schwer- und Flussspat. Eine aktuelle Bewertung der Ergebnisse von 688 Bohrungen, welche die Steinsalz führenden Schichten des Muschelkalks durchstoßen haben, gibt eine verbesserte Vorstellung von der Ausdehnung der Steinsalzlager. Ferner lassen Untertageaufschlüsse, Bohrungen und Lagerstättenmodelle im Schwarzwald Fluss- und Schwerspatgänge erwarten, die mindestens so groß sind, wie die viel diskutierten Gänge im Erzgebirge – vermutlich sogar deutlich größer. Forschungsbohrungen des Geologischen Landesdienstes und die Untersuchung wieder zugänglicher Gänge in alten Bergwerken haben zu interessanten Ergebnissen vor allem hinsichtlich der Lagerstättengenese geführt. An zukunftsweisenden Prospektions- und Explorationsmaßnahmen der Industrie fehlt es aber noch.

Stichwörter

Baden-Württemberg, mineralische Rohstoffe, Industrieminerale, Steinsalz, Flussspat, Schwerspat, Metallerze, Erdöl, Lagerstättenforschung, Rohstofferkundung, Bergbau, Versorgungssicherheit.

Treasures below Surface – what do we know about the Deep-seated Resources in the State of Baden-Wuerttemberg?

Abstract

In Baden-Wuerttemberg near surface various, high-quality and large deposits of rocks for pit & quarry products exist. The mineral deposits occuring in the underground are less known: rock salt of Middle Triassic age, potash salt in Lower Tertiary beds of the Upper Rhine Graben, anhydrite and gypsum in Middle Triassic beds, ultrapure limestones of Upper Jurassic age, oolithic iron ores of Middle Jurassic age, fluorite and barite in hydrothermal veins of Jurassic to Tertiary age, and ores of Zn, Pb, Cu, Ag, Sb, U etc.; the latter are disseminated within the barite and fluorite veins and can be obtained only as by-products of barite and fluorite mining. Underground exploitation in Baden-Wuerttemberg of halite, brine, anhydrite and gypsum, ultrapure limestone, fluorite, barite, some silver-fahlore and CO_2 varies between 5.8 and 6.5 Mio. t per year. Surprising findings of oil and gas in the Upper Rhine Graben give hope for a reactivation of hydrocarbon exploration and exploitation. Inspite of that, because of geological reasons we have to go on importing large amounts of hydrocarbons and ores. The main "treasure below surface" are the industrial minerals, i. e. raw materials, which in most cases cannot be substituted and which are

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

completely spent during industrial processes. Therefore, continuous supply with these minerals is essential. A brief summary concerning these deep-seated occurrences and deposits of industrial minerals is presented in this contribution. Deposits of halite and of fluorite plus barite are the most important. An evaluation of 688 drill holes reaching the rock salt-bearing strata gives an approved model of the distribution area of Triassic rock salt. Data from underground mines and drill holes, supported by new geological models, indicate that the fluorite and barite veins in basement rocks have at least the size as the well-known deposits of the Erzgebirge – probably even larger. Exploration drillings and underground studies in former mines, carried out by the State Geological Survey, led to interesting results concerning the genesis of these hydrothermal mineralizations. However, forward-looking exploration activities of the industry are still missing.

Key words

State of Baden-Wuerttemberg, mineral resources, industrial minerals, halite, fluorite, barite, metal ores, oil and gas, scientific research, mineral exploration, mining, security of supply.

Inhalt

	Kurzfassung	37
	Abstract	38
1	Einführung	40
2	Übersicht	43
3	Tiefliegende Bodenschätze in Baden-Württemberg	46
3.1	Anhydrit- und Gipsstein	46
3.2	Hochreine Kalksteine	47
3.3	Kalisalz	49
3.4	Steinsalz	53
3.5	Eisenerze	62
3.6	NE-Metalle	65
3.7	Fluss- und Schwerspatgänge	68
4	Schlussfolgerungen, Ausblick	84
	Danksagung	85
	Angeführte Schriften	86

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

1. Einführung

Über manche tiefliegende Bodenschätze wissen wir soviel, dass man einiges Interessante dazu mitteilen kann, von anderen haben wir eher vage Vorstellungen. Was Größe und Wertinhalt vieler Rohstoffvorkommen anbelangt, ist aufgrund der vorliegenden Daten und darauf aufsetzender Lagerstättenmodelle auch vorsichtiger Optimismus vertretbar. Doch unsere Kenntnis ist viel geringer, als für die Verbesserung der Versorgungssicherheit erforderlich wäre, vor allem weil bei uns in den letzten Jahrzehnten trotz günstiger Konjunktur, hervorragender Infrastruktur und kontinuierlicher Verbesserung der Prospektions- und Auswertetechniken kaum Erkundungsarbeiten auf tiefliegende mineralische Rohstoffe vorgenommen wurden.

Seit die Metallpreise aus vielerlei Gründen einen generellen Aufwärtstrend aufweisen (vgl. Beitrag WATZEL 2012, dieser Band) und die Versorgungssicherheit Deutschlands aufgrund des enormen Rohstoffhungers der früheren „Dritten Welt", vor allem der neuen Industrienation China, gefährdet ist, wird wieder mehr über die heimischen Bodenschätze nachgedacht. Wie auf dem „1. Rohstoffgipfel Baden-Württemberg" am 2. Juli 2012 in Stuttgart deutlich wurde, bereut es die inländische Industrie heute außerordentlich, dass sich deutsche Bergbau- und Metallhandelsfirmen in den 1980er Jahren aus dem heimischen und dem internationalen Rohstoffgeschäft ganz bzw. weitgehend zurückgezogen haben. Der Autor dieses Beitrags hat den damaligen Rohstoffpreis-bedingten, überstürzten Rückzug der europäischen Bergbaufirmen aus nächster Nähe miterlebt. Selbst an einer vollständigen Auswertung und Archivierung der bis dorthin erzielten, oftmals beachtlichen Erkundungsergebnisse war man nicht mehr interessiert.

In der Folgezeit wurde auch die universitäre Lagerstättenforschung in Deutschland immer stärker zurückgefahren; auch in den Staatlichen Geologischen Diensten sowie den Geo- und Ingenieurbüros traten umweltgeologische Themen in den Vordergrund. Aufgrund der aus der geringen Erkundungs- und Bergbauaktivität resultierenden Distanz des mitteleuropäischen Konsumenten zur ursprünglichsten aller Primärindustrien, dem Bergbau, wissen die meisten Menschen heute nur noch wenig über Rohstofflagerstätten, über die bergmännische Gewinnung und die ehemals tiefe Verknüpfung unserer Kultur mit dem Abbau und der Verarbeitung der mineralischen Rohstoffe. (Die landwirtschaftliche Urproduktion ist älter, auch der handwerkliche Umgang mit verschiedenen Rohstoffen. Die industrielle Produktion hingegen ist gekennzeichnet durch die Erzeugung von materiellen Gütern in technischen Anlagen mit einem hohen Grad an Mechanisierung, Automatisierung – vgl. www.wikipedia.de – und Arbeitsteilung; hier waren Bergbau und zugehörige Rohstoffverarbeitung die Vorreiter.)

Überall dort, wo die deutsche oder europäische Rohstoffindustrie heute versucht, wieder Fuß zu fassen, sind asiatische, russische oder US-amerikanische Bergbaukonzerne schon vor Ort. Die Bundespolitik verlässt sich noch ausschließlich auf die Innovationskraft unserer Industrie und sieht bislang keinen Bedarf für staatliche Förderprogramme. In den Papieren zur „Rohstoffinitiative" der EU und des Bundes (BMWi 2010, EU-Kommission 2011) wird zumindest die Bedeutung einer gesicherten Rohstoffvorsorge für die heimische Industrie betont. Eine häufige Argumentation für das geringe Engagement im eigenen Land ist, dass Deutschland ja angeblich auch kaum über nennenswerte Lagerstätten verfügen würde.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Dieser Irrtum hält sich hartnäckig. Gemeint sind hiermit vor allem die tiefliegenden Lagerstätten der Metallerze und Industrieminerale sowie von Erdöl und Erdgas, obwohl in vielen Bundesländern wie in Baden-Württemberg zahlreiche alte Bergwerke auf tiefliegende Bodenschätze hinweisen und auch weiterhin Rohstoffgewinnung in bedeutendem Umfang unter Tage betrieben wird (Abb. 1).

Aufgrund der beschriebenen Entwicklung war die Überraschung für Öffentlichkeit und Fachwelt daher groß, als im Jahr 2003 bei einer Geothermiebohrung im Oberrheingraben nahe Speyer eine der wahrscheinlich größten Erdöllagerstätten Deutschlands in einer Tiefe von unter 2000 m erkannt wurde. Nach Pressemeldungen geht man davon aus, dass dort ein Viertel aller deutschen Erdölreserven liegen könnte (Badische Zeitung, 8. Januar 2012; Freiburg i. Br.; http://www.gdfsuezep.de, Stand August 2012). Mit dem unerwarteten Fund im Buntsandstein (Abb. 2) – ein bislang nicht für höffig gehaltenes Trägergestein – weist das Gebiet um Speyer und Landau deutlich über 5 Mio. t Erdölreserven auf; es liegt damit möglicherweise in der Größenordnung wie das bislang bedeutendste deutsche Lagerstättenfeld „Mittelplate“ in der deutschen Nordsee (LBEG 2011). Das Feld „Römerberg“ bei Speyer gehört mit über 140 000 t Jahresförderung aus nur zwei Bohrungen bereits zu den förderstarken in Deutschland, obgleich die Feldesentwicklung noch in den Anfängen steckt. Die in Abb. 2 dargestellte Bohrung Römerberg 3 erschließt in rd. 2300 m Tiefe einen stark geklüfteten Buntsandstein; weitere Bohrungen sollen folgen.

Selbst die immense Bedeutung der Steine-Erden-Rohstoffe für unsere alltägliche Nahversorgung, für Bau und Erhalt der Infrastruktur, spielt in der öffentlichen Wahrnehmung nur eine geringe Rolle, obwohl jährlich in Deutschland Gesteinsrohstoffe in einem Umfang von 540 bis 560 Mio. t gefördert und sofort verarbeitet werden (Werner et al. 2006, Börner et al. 2012). Die aufgeführten, seit vielen Jahrzehnten kontinuierlich in der genannten Größenordnung gewonnenen Rohstoffmengen zeigen schon, dass Deutschland nicht rohstoffarm sein kann.

Der folgende Beitrag wird sich auf die tiefliegenden Rohstoffe des Landes Baden-Württemberg konzentrieren und unser Wissen über diese anhand einiger interessanter Beispiele beleuchten. Auf viele Arbeiten, in denen während der letzten Jahrzehnte tiefliegende Rohstoffvorkommen beschrieben wurden und die in zahlreichen unterschiedlichen Schriftreihen und Büchern publiziert wurden, wird hingewiesen. Zur Beschreibung und Bewertung der oberflächennahen mineralischen Rohstoffe sind durch die Arbeiten des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) zwischenzeitlich umfangreiche Werke entstanden oder befinden sich in Vorbereitung. Hervorzuheben ist vor allem das Kartenwerk *Karte der mineralischen Rohstoffe im Maßstab 1 : 50 000* (KMR 50).

Die Beschreibung beginnt bei den ganz überwiegend oberflächennah, aber auch im Tiefbau genutzten Rohstoffen Gips, Anhydrit und Hochreinkalk, geht dann über zu den nur im Tiefbau gewinnbaren Industriemineralen Kali- und Steinsalz, streift die ebenfalls sedimentären Vorkommen von Eisenerzen, die überwiegend unter Tage, z. T aber auch in Tagebau gewonnen wurden, und endet bei den meist gangförmigen Vorkommen bzw. Lagerstätten von Erzen und Industriemineralen im Schwarzwald. Hierbei wird auch auf neue Erkundungsergebnisse eingegangen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

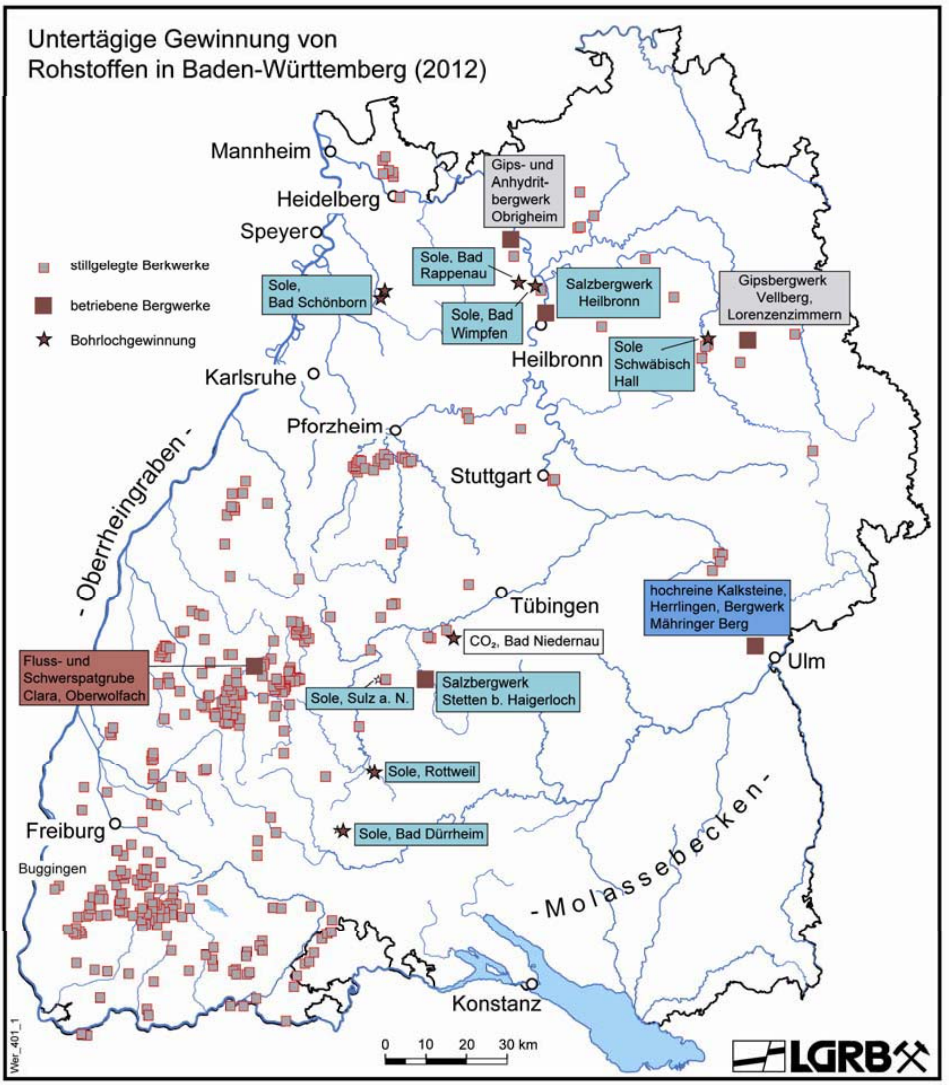

Abb. 1: Übersicht: Untertägige Rohstoffgewinnung in Baden-Württemberg, im Text erwähnte Lagerstätten und Orte. Die Karte zeigt, dass die meisten Bergwerke im Schwarzwald entstanden sind; die Gruben wurden überwiegend auf gangförmige Erz- und Spatlagerstätten angelegt. Da nur auf wenigen Gewinnung bis ins Grundwasser betrieben wurde, ist hier noch mit erheblichen Ressourcen zu rechnen.

Fig. 1: *Key plan: Abandoned and operating mines in the state of Baden-Wuerttemberg. The map illustrates that most former mines (ore, fluorspar, barite) are situated in the Black Forest. In most cases mining was ceased above the groundwater, therefore considerable resources are to be expected.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

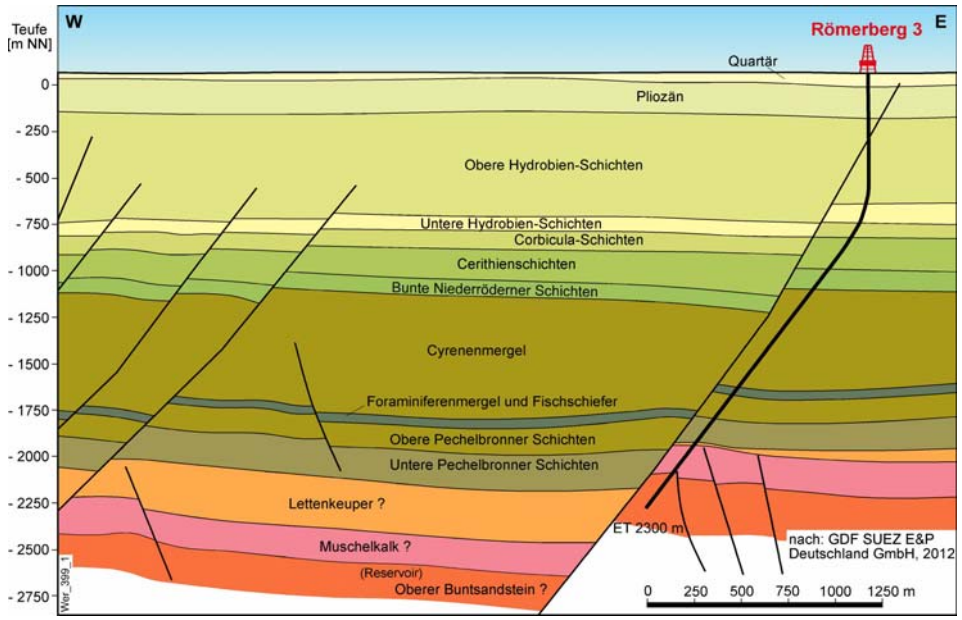

Abb. 2: Schnitt durch den Oberrheingraben bei Speyer mit der Bohrung Römerberg 3, die aus einer Tiefe von unter 2200 m Erdöl aus einem geklüfteten Buntsandstein-Reservoir fördert (nach einem geologischen Schnitt der Fa. GdF Suez Deutschland GmbH: http://www.gdfsuezep.de/cms/upload/PDF/Flyer-Roemerberg).

Fig. 2: *Cross section through the Upper Rhine graben near Speyer depicting the location of the oil and gas well Römerberg 3 and the transsected beds; hydrocarbons were discovered within Bunter beds (shown in red).*

2. Übersicht

Folgende mineralische Rohstoffe treten in Baden-Württemberg in ausgedehnten, tief liegenden Vorkommen auf:

- **Steinsalz** des Mittleren Muschelkalks
- **Kalisalz** im südlichen Oberrheingraben, Alttertiär
- **Anhydrit- und Gipsstein** des Mittleren Muschelkalks und Keupers
- **Hochreiner Kalkstein** in Schichten des Oberjuras
- **Flussspat** (Fluorit), überwiegend Oberjura bis Tertiär
- **Schwerspat** (Baryt), überwiegend Oberjura bis Tertiär
- **Eisenerz** des Braun- bzw. Mitteljuras
- **Erze** von Zink, Blei, Kupfer, Silber, Antimon, Uran u. a., Perm bis Tertiär.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Bei den in Baden-Württemberg von Untertage geförderten Rohstoffen handelt es sich um Sulfatgesteine, Spate, Steinsalz und Sole, hochreine Kalksteine und Kohlendioxid (Abb. 1). In Baden-Württemberg wurden im Jahr 2011 rund 5,8 Mio. t tiefliegende Rohstoffe aus sechs Bergwerken und acht Bohrlöchern („Bohrlochbergbau"), also insgesamt 14 Gewinnungsstellen gefördert, 2010 waren es sogar 6,5 Mio. t (WERNER et al., in Vorb.). Die höhere Fördermenge in 2010 geht vor allem auf einen schneereichen Winter zurück, in dem mehr Streusalz produziert werden musste. Die verwertbare Förderung (Produktion) an den Industriemineralen Steinsalz, Kalisalz, Anhydritstein, Kalk, Quarz usw. umfasst in Deutschland insgesamt jährlich rund 33 Mio. t. Die Steinkohleförderung beträgt etwa 14 Mio. t. (BGR 2010).

Die o. g. mineralischen Rohstoffe Steinsalz bis Schwerspat zählen zu den Industrieminerralen. **Industrieminerale** sind natürlich gebildete Minerale, die in industriellen Prozessen eingesetzt werden, jedoch nicht zur Gewinnung von Metallen und von Energie. Beispiele sind Kalk, Dolomit, Magnesit, Gips, Anhydrit, Steinsalz, Kalisalz, Flussspat, Schwerspat, Quarz, Feldspat, Kaolin, Glimmer, Perlit. Wertvoll sind sie wegen ihrer mineralischen und chemischen Eigenschaften. Diese Definition unterscheidet sich von der im Internetnachschlagewerk www.wikipedia.de insofern, als dort die direkte Anwendung, ohne Stoffumwandlung, als Merkmal hervorgehoben wird. Dies gilt aber weder für Gips oder Kalk (werden zum Halbhydrat getempert oder gebrannt) noch für Baryt, Fluorit und Steinsalz, da diese oft – aber nicht ausschließlich – nach chemischen Prozessen in der Industrie weiterverwendet werden (NaCl für Natronlauge und Soda, Fluorit für Flusssäure usw.).

Erdöl und Erdgas treten in Baden-Württemberg besonders zwischen Offenburg und Mannheim im mittleren Oberrheingraben und im oberschwäbischen Molassebecken auf, jedoch handelt es sich überwiegend um kleine, kompliziert gebaute, oft stark verwässerte oder salzhaltige Vorkommen. Die Erdöl-Erdgas-Suche im Molassebecken wurde im Zeitraum 1954–90 durchgeführt. Dabei konnten zahlreiche kleine Lagerstätten in tektonischen Fallen nachgewiesen werden, wobei überwiegend Sedimentgesteine von Trias und Jura und der oligozänen Unteren Süßwasser- und Unteren Meeresmolasse Kohlenwasserstoff führend angetroffen wurden. Die wichtigsten Felder waren die bei Fronhofen-Illmensee, Hauerz, Oberschwarzach und Mönchsrot (vgl. Zusammenstellungen bei HEINZ 2002, HEINZ et al. 2002 UND WERNER & KIMMIG 2004). Die letzte Förderung wurde 1997 eingestellt.

Wohl noch komplizierter sind die Kohlenwasserstofflagerstätten im Oberrheingraben aufgebaut, da dieser tektonisch besonders aktive Krustenstreifen von zahlreichen, sich spitzwinklig überschneidenden Störungssystemen durchzogen wird. Auf diesen Strukturen mit überwiegend lateraltektonischen Bewegungen (Blattverschiebungen, strike slip) migrieren Kohlenwasserstoffe jedoch auch aus tiefen Fallenstrukturen heraus bis an die Oberfläche. Bitumina aus dem Graben sind daher weit verstreut auf Klüften und in Hohlräumen z. B. in Muschelkalk-Karbonatgesteinen oder sogar in Vulkaniten des Kaiserstuhls und tertiärzeitlichen Hydrothermalgängen anzutreffen (Abb. 3). Die moderne Mikrosonden-Analytik kann Kohlenwasserstoffe in winzigen Einschlüssen vor allem in Zinkblende- und Bleiglanzkristallen nachweisen, so z. B. in Hydrothermalgängen im Revier Freiamt-Sexau, am Schauinsland, im Münstertal und bei Badenweiler (GERMANN et al. 1994, WERNER et al. 2002). Möglichweise gibt es aber doch erhaltene Fallenstrukturen im Graben, in denen es zu größeren Anreicherungen gekommen ist, wie die o. g. überraschenden Funde bei Speyer zeigen. Moderne Explorations- und Fördermethoden, die auch kleine Strukturen erkennen und nutzen lassen, könnten im Oberrheingraben zum Erfolg führen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

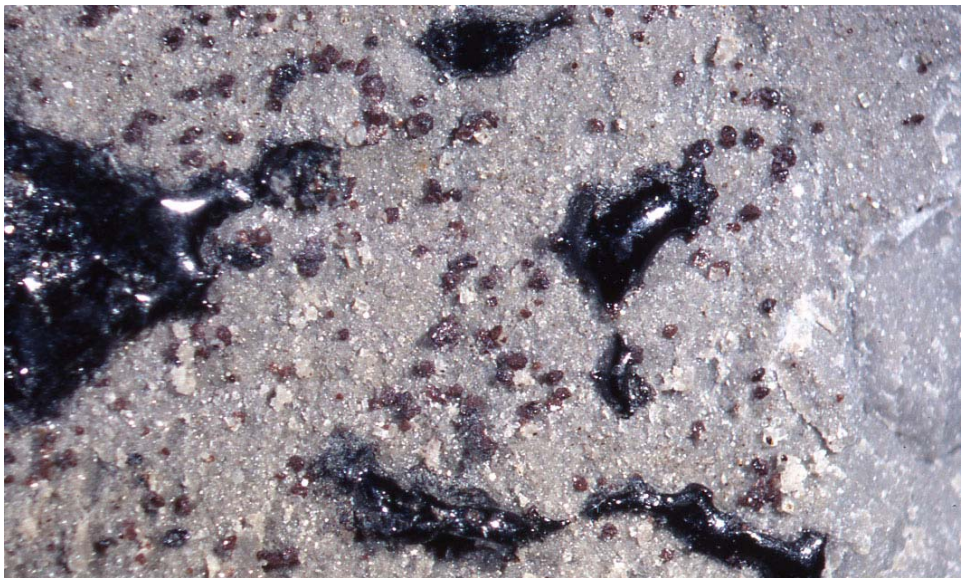

Abb. 3: Bitumen auf einer mit Calcit und roter Zinkblende mineralisierten Kluft, Trochitenkalk bei Wiesloch; Bildbreite entspricht 1 cm.
Fig. 3: *Bitumen with sphalerit (dark red) and calcite within the Triassic Trochitenkalk limestone.*

Begriffsdefinition: In den angewandten Geowissenschaften und der Rohstoffindustrie sind die Begriffe „Rohstoffvorkommen“ und „Rohstofflagerstätte“ klar definiert; im Bereich der Grundlagenforschung und in den historischen Wissenschaften wird „Lagerstätte“ hingegen meist ganz allgemein für jede (interessante) Erz- und Mineralanreicherung verwendet, unabhängig von Erkundungsgrad, Größe und Wertinhalt. Bei einem Rohstoffvorkommen handelt es sich ganz allgemein um einen räumlich begrenzten geologischen Körper, in dem mineralische Rohstoffe angereichert sind; es wird keine Aussage gemacht, ob die Minerale oder Gesteine dieses Vorkommens auch wirtschaftlich gewinnbar sind oder sein können. Rohstoffvorkommen sind im Allgemeinen nicht so detailliert untersucht wie Lagerstätten.

Als Lagerstätten bezeichnet man hingegen natürliche Anhäufungen nutzbarer Minerale und Gesteine, deren Ausdehnung, Qualität, bergbautechnische und wirtschaftliche Nutzbarkeit durch Erkundungsarbeiten hinreichend geklärt ist. Eine Lagerstätte ist ein abbauwürdiges Vorkommen mineralischer oder energetischer Rohstoffe. Im Vordergrund steht die wirtschaftliche Gewinnbarkeit. Da diese durch Nachfrage und Angebot beeinflusst wird, ändert sich auch die Einschätzung bezüglich der Wirtschaftlichkeit eines Rohstoffvorkommens. Was als Lagerstätte angesehen wird, ist also abhängig von den wirtschaftlichen Verhältnissen und damit zeitlich veränderlich. Nachfolgend wird daher oft von *wirtschaftlich interessanten* Vorkommen gesprochen. Der Begriff Lagerstätte wird hier nur verwendet, wenn die betreffende Mineralanreicherung durch langjährigen und umfangreichen Bergbau grundsätzlich als wirtschaftlich gewinnbar anzusehen ist.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

3. Tiefliegende Bodenschätze in Baden-Württemberg

3.1 Anhydrit- und Gipsstein

In großen Vorkommen treten in Baden-Württemberg sowohl im Keuper als auch im Mittleren Muschelkalk Sulfatgesteine auf. Sie werden heute noch überwiegend im Tagebau gewonnen, obgleich die größten Reserven unter Tage zu finden sind. Rund ein Viertel der deutschen Sulfatgesteinsproduktion kommt aus Baden-Württemberg. Aufgrund der hohen Nutzungskonkurrenzen geht die Gewinnung von Gipsstein im Tagebau zurück, die Erschließung hochwertiger Gipsvorkommen wird immer schwieriger. Im Jahr 2000 waren noch 22 Gewinnungsstellen von Sulfatgesteinen in Baden-Württemberg in Betrieb, heute sind es noch 18 Gruben, die zusammen 1,2 Mio. t fördern. Die nachgewiesenen Gesamtvorräte im oberflächennahen Bereich betrugen 2005 etwa 70 Mio. t (Rohstoffbericht Baden-Württemberg: WERNER et al. 2006, WERNER et al. in Vorb.). Die geologischen Vorräte unter Tage sind hingegen nahezu unerschöpflich; wie viel davon gewinnbar wäre (Schichtmächtigkeiten, Gesteinsfazies, Salzgehalt, Tektonik, Grundwasser usw.) kann derzeit mangels Daten nicht abgeschätzt werden.

Im Tiefbau erschlossene Sulfatgesteinslagerstätten liegen bei Obrigheim am Neckar in Schichten des Mittleren Muschelkalks und bei Vellberg-Lorenzenzimmern im Unteren Gipskeuper, wo von der Fa. Knauf-Integral ein 10–11 m mächtiges Lager in der Gipsgrube „Anneliese“ abgebaut wird. Die bei Obrigheim in rd. 200 m Tiefe genutzte Lagerstätte ist zwischen 10 und 12 m mächtig (Abb. 4). Die Grube ist schon seit 1847 in Betrieb. Heute werden im Kammer-Festen-Bau jährlich rd. 300 000 t Gips- und Anhydrit gewonnen, wovon 90 % in die Zementindustrie und 10 % in das Gipswerk Neckarzimmern zur Produktion von Baugipsen gehen (BERWANGER 2006, http://www.heidelbergcement.com/de, Stand August 2012). Sie ist damit Deutschlands älteste und zugleich größte Gips- und Anhydritgrube.

Abb. 4: Untertagegewinnung von Anhydrit- und Gipsstein des Mittleren Muschelkalks im Bergwerk Obrigheim der HeidelbergCement AG, dem größten Gips- und Anhydritbergwerk Deutschlands. Abgebaut wird im Kammer-Festen-Bau durch Bohren und Sprengen, Radlader bringen das Haufwerk zu den Transportfahrzeugen. (Foto: HeidelbergCement)

Fig. 4: *Underground exploitation of anhydrite and gypsum in Middle Triassic beds in the Obrigheim mine, operated by HeidelbergCement AG. The mine is the largest sulfate-rock mine in Germany.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die Lager weisen unterschiedlichen Reinheitsgrad bzw. Tongehalt auf; das untere 5 m mächtige Paket, der sog. Sohlgips, ist besonders rein und wird bevorzugt zur Baugipsproduktion verwendet. Der darüber folgende, 5 m mächtige „Firstgips“ ist toniger. Zwischen beiden Sulfatlagern befindet sich der Rückstandston, der durch die Auslaugung des ehemals vorhandenen Steinsalzlagers entstanden ist (nur 10 km südlich von Obrigheim treten wieder abbauwürdige Salzlager im Mittleren Muschelkalk auf, s. Kap. 3.4). Hauptverwendungsbereiche für reinen Anhydritstein sind schnell abbindende Anhydritfließestriche, weniger reine dienen als Zumahlstoff für Zemente zur Regulierung des Abbindeverhaltens (Abbindeverzögerer). Der Fließestrich wird aus gebrochenem und fein gemahlenem Naturanhydritstein erzeugt.

3.2 Hochreine Kalksteine

Karbonatgesteine mit mehr als 98,5 % Calciumkarbonat werden als „hochreine Kalksteine“ bezeichnet; sind diese Kalksteine sehr ton- und eisenarm und dadurch reinweiß, werden sie „Weißkalksteine“ oder einfach „Weißkalke“ genannt. Sie zählen aufgrund ihres bevorzugten Einsatzes zu den Industriemineralen. Ihre chemische Reinheit erlaubt verschiedene hochwertige Nutzungen: Herstellung von Putzen, Betonwerksteinen, Kalksand- und Porenbetonsteinen, Portlandzementen, Düngung in der Forst- und Landwirtschaft, Wasser-, Abwasser- und Klärschlammaufbereitung, Erzeugung von Lacken, Dispersionsfarben, Kunststoffen, Glas und Papier, Rauchgasreinigung usw. Die Fördermenge an hochreinen Kalksteinen betrug in Baden-Württemberg im Jahr 2011 rd. 5,5 Mio. t (WERNER et al., in Vorb.). Die wichtigsten derartigen Karbonatgesteinslagerstätten befinden sich im Oberjura der Schwäbischen Alb sowie im Ober- und Mitteljura der Vorbergzone am südlichen Oberrhein. Hervorzuheben sind die Gewinnungsstellen bei Blaustein-Herrlingen im Mähringer Berg bei Ulm (Steinbruch und Bergwerk), der Steinbruch Gerhausen im Blautal, die Steinbrüche im Hauptrogenstein bei Merdingen und im Oberjura-Riffkalk bei Istein.

Vor allem aufgrund der Nutzungskonkurrenzen im dicht besiedelten Blautal und dem städtischen Erweiterungsgebiet westlich von Ulm reifte die Überlegung, die seit dem 19. Jh. betriebene Gewinnung von Weißkalken, dem sog. Ulmer Weiß, aus dem Steinbruch Blaustein-Herrlingen unter Tage in den nahen Mähringer Berg zu verlegen (Abb. 5). Schon im Winter 2000 wurde der Erkundungsstollen im Mähringer Berg am tiefsten möglichen Punkt angeschlagen, nämlich 1 m über dem höchsten gemessenen Karstgrundwasserstand. Konjunkturelle Entwicklungen und Besitzerwechsel verzögerten zunächst weitere Arbeiten. 2007/2008 wurden zur Vorbereitung des eigentlichen Kalkabbaus über 1,3 km Strecken aufgefahren, wobei ein Ausbruchvolumen an Kalkstein von 49 000 m^3 gelöst wurde (STANGL & KIRCHHELLE, o. J.). Seit 2011 findet regelmäßige Gewinnung hochreiner Kalksteine unter Tage statt. Die Erzeugung von Branntkalk erfolgt im unmittelbar benachbarten Werk in zwei Brennöfen. Zwischen 70 und 80 % der gelösten Menge besitzen ausreichenden Reinheitsgrad für die Erzeugung von Branntkalk. Durch tief reichende Verkarstung verlehmte Gesteinspartien verbleiben unter Tage. Derzeit findet die Gewinnung auf einer Sohle statt; sie soll sich in den nächsten Jahren in einen mehrsöhligen Kammer-Festen-Bau entwickeln (Mitt. S. PINGEL, Sachtleben Mining Services GmbH).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 5: Gewinnung von hochreinem Kalkstein im Bergwerk Mähringer Berg bei Ulm. Das Foto von 2001 zeigt eine erste Versuchskammer im Kammer-Festen-Bau der Fa. Omya. Zur Stützung des Gebirges verbleiben 10 x 10 m mächtige pfeilerartige Festen, die Abbaukammern sind 9,5 m hoch. Heute wird die Grube von der Fa. Märker Kalk GmbH betrieben.
Fig. 5: *Exploitation of ultrapure limestone in the Mähringer Berg mine near Ulm. The photograph was taken in 2001 and illustrates room-and-pillar-mining during the test phase carried out by the Omya company. The mine is now operated by the Märker Kalk GmbH.*

Hochreine Kalksteine treten bei Ulm und bei Heidenheim a. d. Brenz auf der Ostalb in mehreren großen, bis 80 m mächtigen Körpern auf. Vor allem im stratigraphischen Niveau des Kimmeridge 3 (Obere Felsenkalk-Formation, in der massigen Fazies: Untere Massenkalk-Formation) sind reine Kalksteinkörper zu finden. Faziell handelt es sich überwiegend um stromatolithische Krustenkalksteine sowie um Partikelkalksteine, die sich als Schuttfächer um die riffartigen Krustenkalkkörper ausgedehnt haben (KIMMIG et al. 2001, BOCK et al. 2011). Diese Körper verzahnen sich lateral mit mergeligen Kalksteinen und sind von Kalkmergelsteinen der Zementmergel-Formation, im Ulmer Gebiet auch von tonig-sandigen Sedimenten der Unteren Meeresmolasse, überdeckt (Abb. 6). Nahe der Oberfläche und entlang von engständig geklüfteten und verkarsteten Bereichen sind diese reinen Karbonatgesteine oft intensiv verkarstet und verlehmt; besonders störend sind durch Verwitterungsprozesse eingetragene Eisengehalte. Der Vorteil des untertägigen Abbaus von Weißkalk ist, dass die mächtigen Abraumschichten nicht entfernt werden müssen und reinere, geringer verkarstete Kalksteinkörper erreicht werden können; außerdem kann die Oberfläche zeitgleich z. B. forstlich oder landwirtschaftlich genutzt werden. Der Nachteil liegt darin, dass aus Standsicherheitsgründen nur 50–60 % des Körpers abgebaut werden können.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

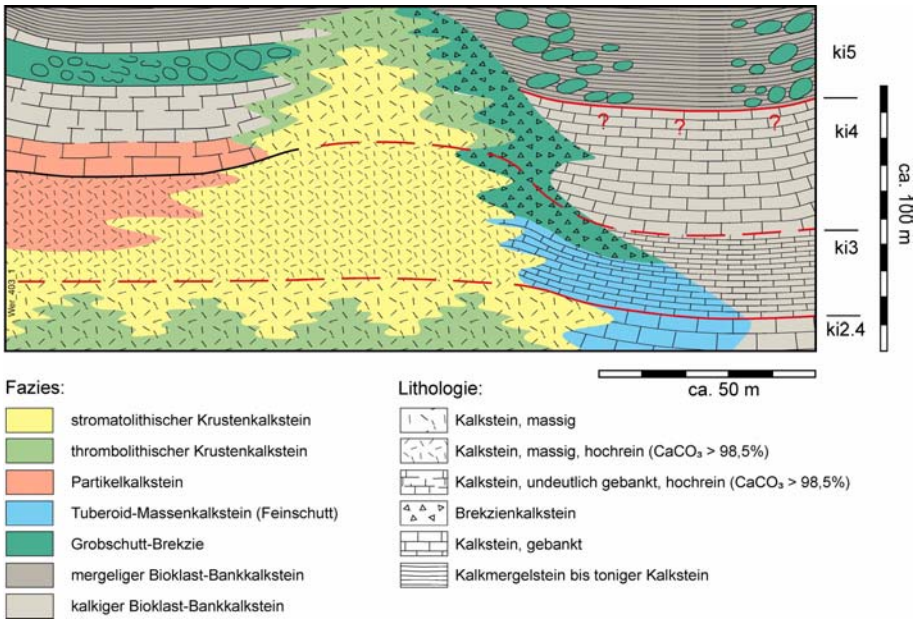

Abb. 6: Faziesprofil für ein Vorkommen hochreiner Kalksteine im Oberjura der Mittleren Schwäbischen Alb nahe Ulm (nach: KIMMIG et al. 2001).
Fig. 6: *Schematic section illustrating the variability of carbonate facies in Upper Jurassic beds of the central Swabian Alb (after: KIMMIG et al. 2001). Ultrapure limestones occur in stromatolithic and debris limestones (shown in yellow and red).*

Bei der Erkundung solcher hochreiner Kalksteinkörper hat sich die Kombination aus Kernbohrungen und karbonatfaziellen sowie strukturgeologischen Untersuchungen als zielführend erwiesen (GIESE & WERNER 1997, KIMMIG et al. 2001). Durch die rohstoffgeologischen Kartier- und Erkundungsbohrprogramme des LGRB im Rahmen seiner Arbeiten zur Rohstoffsicherung wurden im Oberjura der Mittleren Schwäbischen Alb eine Reihe mächtiger Körper mit hochreinen Kalksteinen nachgewiesen, deren Calcitgehalte bei über 99 % liegen und die ein ausreichendes Vorratsvolumen für eine wirtschaftliche Gewinnung aufweisen (z. B. MAUS 2000, BOCK 2001). Weitere LGRB-Arbeiten sind im Zusammenhang mit der Regionalplanberatung und der Erstellung der KMR 50 auf der Ostalb bei Heidenheim a. d. Brenz in Vorbereitung.

3.3 Kalisalz

Lagerstättenbildende Kalisalze sind Sylvin (Kaliumchlorid, KCl), Carnallit ($KMgCl_3$ x 6 H_2O), Kainit (KMg (Cl SO_4) x 3 H_2O, Kieserit ($MgSO_4$ x H_2O) und Polyhalit ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4$ x 2 H_2O). Sie treten in schichtiger Anreicherung, den Flözen, innerhalb von Steinsalzlagern auf. Schwerpunkt des deutschen Kalisalzbergbaus sind die Zechsteinsalzlager im Thüringer Becken und im Werrabecken (Abb. 7). In Baden-Württemberg fand am südlichen Oberrhein umfangreicher Kalisalzbergbau in Schichten des Unteroligozäns statt (Abb. 8–10). Die beiden Schächte 1 (Baden) und 2 (Markgräfler) bei Buggingen waren je 830 m tief, der Schacht 3 bei Heiterheim sogar 1115 m. Dies ist der bislang tiefste Schacht in Baden-Württemberg. Nach Erkundungsarbeiten seit 1912 und Schachteufarbeiten ab 1922 begann die Kaligewinnung in Buggingen im Jahr 1926 (DENNERT 1991).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 7: Kalisalz-Flöz Staßfurt im ehemaligen Kalibergwerk Teutschenthal bei Halle a. d. Saale, 3. Sohle, Streckenvortrieb mit einer Teilschnittmaschine im carnallitischen Kalisalzlager. Die Grube Teutschenthal ist heute Versatzbergwerk. Aufnahme K. STEDINGK, Landesamt für Geologie und Bergwesen, 26.01.2006.
Fig. 7: *Potash seam in the former mine Teutschenthal near Halle, 3. floor. Part-face heading machine in the carnallitic potash seam (picture by K. Stedingk, 2006).*

Abb. 8: Schachtanlage Buggingen mit den Schächten 1 und 2. Foto von ca. 1970 (Archiv Kali-Museum Buggingen).
Fig. 8: *Shaft plant Buggingen with shafts 1 and 2, picture from the year 1970 (archive of the potash museum Buggingen).*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

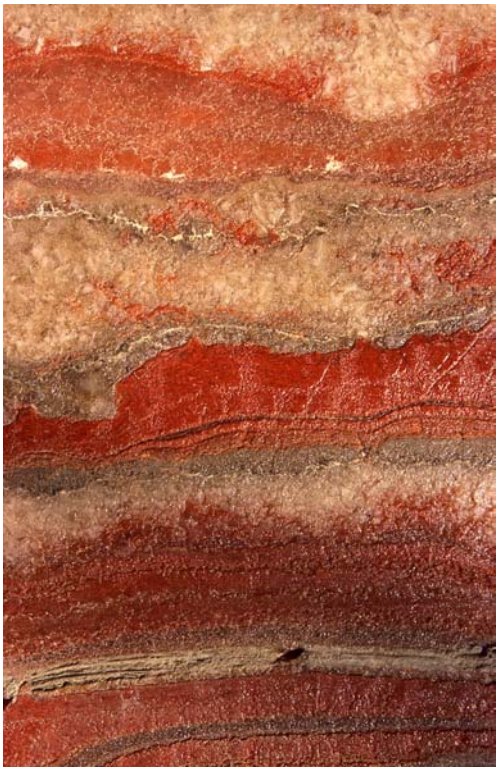

Abb. 9: Schichtiger Wechsel von rotem Kalisalz Sylvinit (KCl) und gelblichweißem Steinsalz im oligozänzeitlichen Kaliflöz von Buggingen und Heitersheim; Bildhöhe entspricht 25 cm.
Fig. 9: *Interbedded strata of sylvinite (redish) and halite of the Lower Tertiary potash seam of Buggingen and Heitersheim.*

Die tektonische Zerstückelung der Schichten am östlichen Grabenrand bedingt die Zerlegung des Salinars in mehrere tektonische Blöcke bzw. „Schollen". Die für den Kalisalzbergbau wichtigen waren die Bugginger und die Grißheimer Scholle (ALBIEZ 1977, ALBIEZ in: GROSCHOPF et al. 1996). Die beiden Sylvinit-Lager auf der Bugginger Horstscholle, auf der die Schichten 10–35° nach Westen einfallen, wurden in einer Tiefe von 600–1100 m abgebaut. Die westlich anschließenden, mit 2–10° W einfallenden Lager auf der Grißheimer Scholle reichen bis 1500 m und somit in eine Tiefe, die den Abbau schon unter damaligen Bedingungen unwirtschaftlich machte. Der Bergbau wurde durch hohen Gebirgsdruck, Temperaturen um 50° C, Methangaszutritte und vor allem durch wenig standfeste Nebengesteine aus Anhydrit- und Mergelstein erschwert (Mitt. V. DENNERT). Im Nordfeld bei Heitersheim durchziehen mächtige Nord–Süd streichende Basaltgänge die Lagerstätte (ESSLINGER 1976); an diesen sind die Schichten bis auf 80° aufgestellt (Abb. 10). Bei dieser als Weinstetter „Diapir" (bei den Bergleuten als „Westfeld-Diapir") bekannten steilen, sattelartigen Struktur handelt es sich vermutlich um eine Zone mit relativ geringer tektonischer Einsenkung; während die tertiären Schichten der Umgebung starke Einsenkungen im Zusammenhang mit der Grabentektonik aufweisen, blieb diese steil stehende Vulkanitzone als starrer Block relativ ortstabil.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Aufgrund der häufigen Lagerstättenwechsel und der geringen Standfestigkeit der umgebenden Pechelbronner Schichten waren die Aufwendungen für den Ausbau der genutzten und den Versatz der abgestoßenen Grubenräume erheblich (BLOMENKAMP 1982). Anders als im Elsass, wo die beiden Kalisalzlager im sog. Bruchbau gewonnen wurden, mussten alle Abbauhohlräume durch Berge und Aufbereitungsrückstände aus der sog. Chlor-Kali-Fabrik verfüllt werden. Die dabei angefallenen tonig-anhydritischen Rückstände waren für den Versatz ungeeignet und wurden daher über Tage aufgehaldet. Nur diese Reststoffe auf der sog. Kali-Halde weisen heute noch auf den einst bedeutenden Bergbau bei Buggingen und Heitersheim hin. Durch den Versatz konnte die Übertage-Setzung gering gehalten werden. Trotzdem senkte sich die Oberfläche örtlich bis 1,5 m ein. Entlang der Rheintalbahn konnte die langsame bergbaubedingte Einsenkung durch ständiges Aufschottern des Gleisbetts ausgeglichen werden (GEIGER 2009).

Das Wertmineral des 4–5 m mächtigen Kaliflözes bei Buggingen und Heitersheim war Sylvin, das im Wechsel mit Halit auftritt (Abb. 9 und 10). Bugginger Kali wurde vor allem für Düngemittel verwendet, das (verunreinigte) Steinsalz z. T. für den Winterdienst. Der Sylvingehalt schwankt lagenweise zwischen 20 und 95 %; als Durchschnittsgehalt des Flö-

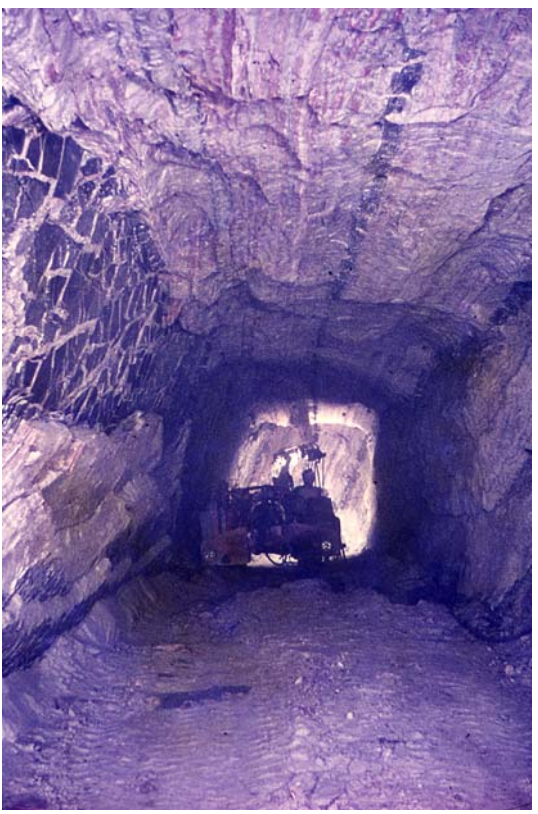

Abb. 10: Abbau im steil stehenden Kaliflöz bei Heitersheim; an einer jungtertiären Basaltintrusion wurde das Lager steil aufgestellt. (Foto aus dem Archiv des Kali-Museums Buggingen).
Fig. 10: *Mining of potash salt at Heitersheim, where due to late Tertiary dykes of basaltic intrusives the potash seams dip almost vertically.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

zes gibt GEIGER (2009) 28 % KCl, 59 % NaCl und 13 % Ton + Anhydrit an. Der durchschnittliche K_2O-Gehalt im Fördergut lag bei 19 % (unveröff. Bericht der Gewerkschaft Baden von 1965). Der Kalibergbau bei Magdeburg z. B. findet derzeit in Tiefen zwischen 700 und 1000 m statt. Der durchschnittliche K_2O-Gehalt im Haufwerk liegt dort bei 16,5 %. Das zeigt, dass die Kalisalzlager im Markgräflerland von guter Qualität waren.

Bis zur Schließung der Grube am 13. April 1973 waren insgesamt ca. 17 Mio. t Rohsalz gefördert worden. Die verbliebenen geologischen Vorräte sind sicher beachtlich: Bis zu einer Erkundungstiefe von 1600 m ist noch „*ein Mehrfaches dieser Fördermenge*“ nachgewiesen (GEIGER 2009: 97). Der schon im Jahr 1904 begonnene Kalisalzabbau auf französischer Seite wurde mit der Zeit, trotz günstigerer geologischer Verhältnisse, ebenfalls unrentabel; der umfangreiche Kalibergbau bei Mulhouse wurde 2004 eingestellt.

Aufgrund der dargestellten geologischen und bergtechnischen Verhältnisse ist trotz der genannten Vorratssituation nicht von einer Wiederaufnahme des Kalisalzbergbaus am südlichen Oberrhein auszugehen. Die hohen Betriebskosten, die enormen Georisiken und die Konkurrenz der großen Kaligruben Mitteldeutschlands machen eine Wiederinbetriebnahme auch langfristig unwahrscheinlich.

3.4 Steinsalz

Baden-Württemberg weist im außeralpinen deutschen Raum die längste Tradition im Steinsalzbergbau auf. Genutzt werden die 10–60 m mächtigen Steinsalzlager im unteren Teil des Mittleren Muschelkalks. Als Einsatzbereiche für Steinsalz werden unterschieden: (1) Industriesalz (80 % der Steinsalzproduktion z.B. für Soda, PVC, Natronlauge), (2) Gewerbesalz (z. B. zur Wasserenthärtung durch Ionenaustausch, in der Landwirtschaft, beim Textilfärben, beim Konservieren in der Wurstherstellung und der Fischerei-Industrie), (3) Auftausalz, (4) Speisesalz und (5) Salz für medizinische und pharmazeutische Anwendungen (mehr als 20 000 pharmazeutische Präparate werden auf der Basis oder unter Verwendung von Natriumchlorid hergestellt).

Deutschland ist eines der bedeutendsten Salzbergbaugebiete der Welt, und Baden-Württemberg gehört derzeit mit einer Fördermenge von über 5 Millionen Tonnen zur Spitzengruppe der deutschen Steinsalzproduzenten. Die industrielle und wirtschaftliche Bedeutung des Muschelkalk-Steinsalzes resultiert aus der Mächtigkeit und günstigen Zusammensetzung der Steinsalzablagerungen. Das Muschelkalksalinar in Süddeutschland und der Nordschweiz ist durch das Fehlen von Kalium-Magnesium-Salzen gekennzeichnet, was für die chemische und Lebensmittel-Industrie sowie für die Herstellung von Speisesalz von Bedeutung ist. Der Abbauhorizont in Heilbronn und Kochendorf, Stetten bei Haigerloch und der durch Solung genutzten Abschnitte am Hochrhein ist das Untere Salzlager (auch „Unteres Steinsalz“) (Abb. 11). Das in Heilbronn abgebaute Steinsalz besteht zu rund 97–98 % aus NaCl, weniger als 1 % Anhydrit und einem nicht wasserlöslichen Anteil an Karbonaten und Silikaten von 1,9–2,7 % (FISCHBECK & WERNER 2003). Beim nicht wasserlöslichen Anteil handelt es sich hauptsächlich um Dolomit, Kaolinit, Illit, Chlorit, Quarz und Feldspat. Das Steinsalzlager bei Stetten wird im Mittel aus 95–97 % NaCl aufgebaut. Ein Charakteristikum des Muschelkalksteinsalzes ist seine grobspätige Beschaffenheit, die sich deutlich vom fein- bis kleinkörnigen „Liniensalz“ des Zechsteins unterscheidet (vgl. Abb. 12 und Abb. 7).

Über dem 5–12 m mächtigen Unteren Salz folgt das Bändersalz, das im Heilbronner Raum als eine ca. 6 m mächtige Steinsalz-Anhydrit-Abfolge entwickelt ist. Das darüber folgende Obere Salz (Oberes Steinsalz) ist nach Bohrungen max. 13,5 m mächtig. In seiner petrographischen und mineralogischen Ausbildung gleicht es dem Unteren Salz, es ist jedoch wie das Bändersalz deutlich anhydritreicher und wird daher derzeit wirtschaftlich nicht verwertet.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

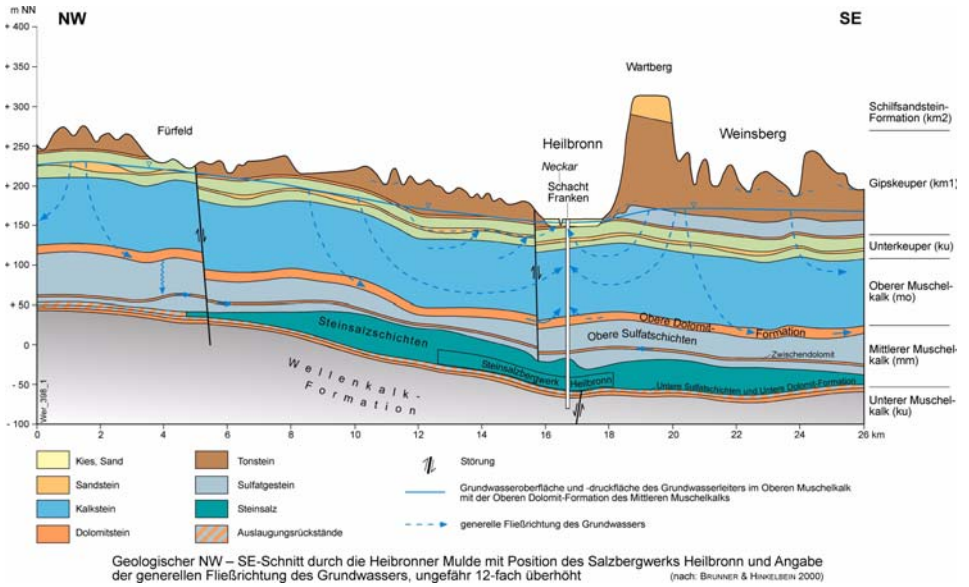

Abb. 11: Geologischer Schnitt durch die Heilbronner Mulde mit Darstellung des Steinsalzlagers und des Bergwerks Heilbronn (nach: Brunner & Hinkelbein 2000).
Fig. 11: *Geological cross section through the Heilbronn Syncline illustrating the location of the rock-salt beds and the salt mine Heilbronn (after: Brunner & Hinkelbein 2000).*

Im Jahr 1824 begann mit dem Erreichen des Steinsalzes im Mittleren Muschelkalk durch einen Schacht des Bergwerks Wilhelmsglück bei Schwäbisch Hall das Zeitalter der bergmännischen Steinsalzgewinnung (Simon 1995, 2003, Bock & Kobler 2003); zuvor hatte es – seit keltischer Zeit – lediglich die Siedesalzerzeugung aus Solebrunnen gegeben. Nach Wilhelmsglück folgten in Südwestdeutschland die Salzbergwerke bei Jagstfeld, Stetten bei Haigerloch, Heilbronn und Kochendorf. Bis auf die Bergwerke Heilbronn und Stetten sind alle anderen zwischenzeitlich außer Betrieb genommen, verbrachen teilweise (Jagstfeld, Grube Wilhelmsglück) oder mussten aus Sicherheitsgründen versetzt werden (Kochendorf). Sole für die Industrie oder zu Badezwecken wird heute noch in Bad Wimpfen, Bad Dürrheim, Bad Rappenau, Bad Schönborn, Rottweil, Rheinfelden und Schwäbisch Hall in geringem Umfang gefördert.

Das **Steinsalzbergwerk Heilbronn** der Südwestdeutschen Salzwerke AG gehört zu den größten und modernsten Salzbergwerken Deutschlands (Abb. 13 und 14); seit 2006 wird mit dem Continuous Miner ein schneidendes bzw. fräsendes Gewinnungsverfahren angewendet. Alleine aus diesem Bergwerk wird heute mehr Steinsalz gewonnen als alle genannten Gewinnungsstellen gemeinsam liefern würden. Die Karte der Abb. 13 zeigt, welche Bereiche zwischen Bad Rappenau, Bad Friedrichshall und Heilbronn zur Salzgewinnung durch Bergbau und Solung bislang genutzt wurden und verdeutlicht anhand von Zeitscheiben, wie rasch der Abbau im Nordwestfeld der Grube Heilbronn voranschreitet. Die Karte der konstruierten Steinsalzmächtigkeit (Abb. 16) zeigt schließlich, dass das Salinar

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 12: Typisches grobkristallines Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Baden-Württembergs, unten das durch Anhydrit schwach verunreinigte „Schwadensalz“, oben reines „Klarsalz“.
Fig. 12: *Typical coarse-grained rock salt in Middle Triassic beds of Baden-Wuerttemberg. Bottom: grey salt with anhydrite constituents. Top: pure halite.*

markante Mächtigkeitsschwankungen aufweist; der aktuelle Bergbau geht in den mächtigsten Bereichen um. Eine Ausdehnung des Bergwerks nach Westen ist wegen der alten Soleanlage III (vgl. Karte Abb. 13) nicht möglich. Nach Südosten deuten sich jedoch wieder große Steinsalzmächtigkeiten an.

Im ältesten und kleinsten Salzbergwerk Deutschlands bei **Stetten nahe Haigerloch** wird die Gewinnung aufgrund der geringeren Steinsalzmächtigkeiten mit der traditionellen Methode Bohren - Sprengen - Laden durchgeführt (Abb. 15). Dort fehlt das Obere Salzlager aufgrund von Auslaugungsvorgängen fast völlig, und auch das Bändersalz ist nur in Relikten erhalten. Das in Abbau befindliche Steinsalzlager entspricht stratigraphisch dem Unteren Salz in Kochendorf und Heilbronn. Es wird hier als „Zwickelsalz“ bezeichnet und ist in der Grube Stetten zwischen 10 und 12 m mächtig. Die Steinsalzlagerstätte weist eine unregelmäßige, zerlappte Form auf. Sie erstreckt sich in NNE–SSW-Richtung auf ca. 4 km und in NW–SE-Richtung auf möglicherweise 5 km Länge. Eine 2004 abgeteufte Erkundungsbohrung südlich des bestehenden Salzbergwerks wies in einer Teufe von 227 m Steinsalzmächtigkeiten von 12,8 m nach. Gemeinsam mit den Ergebnissen reflexionsseismischer Messungen zeigt sie, dass hinsichtlich der Steinsalzvorräte der Bergbau an der Eyach eine

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

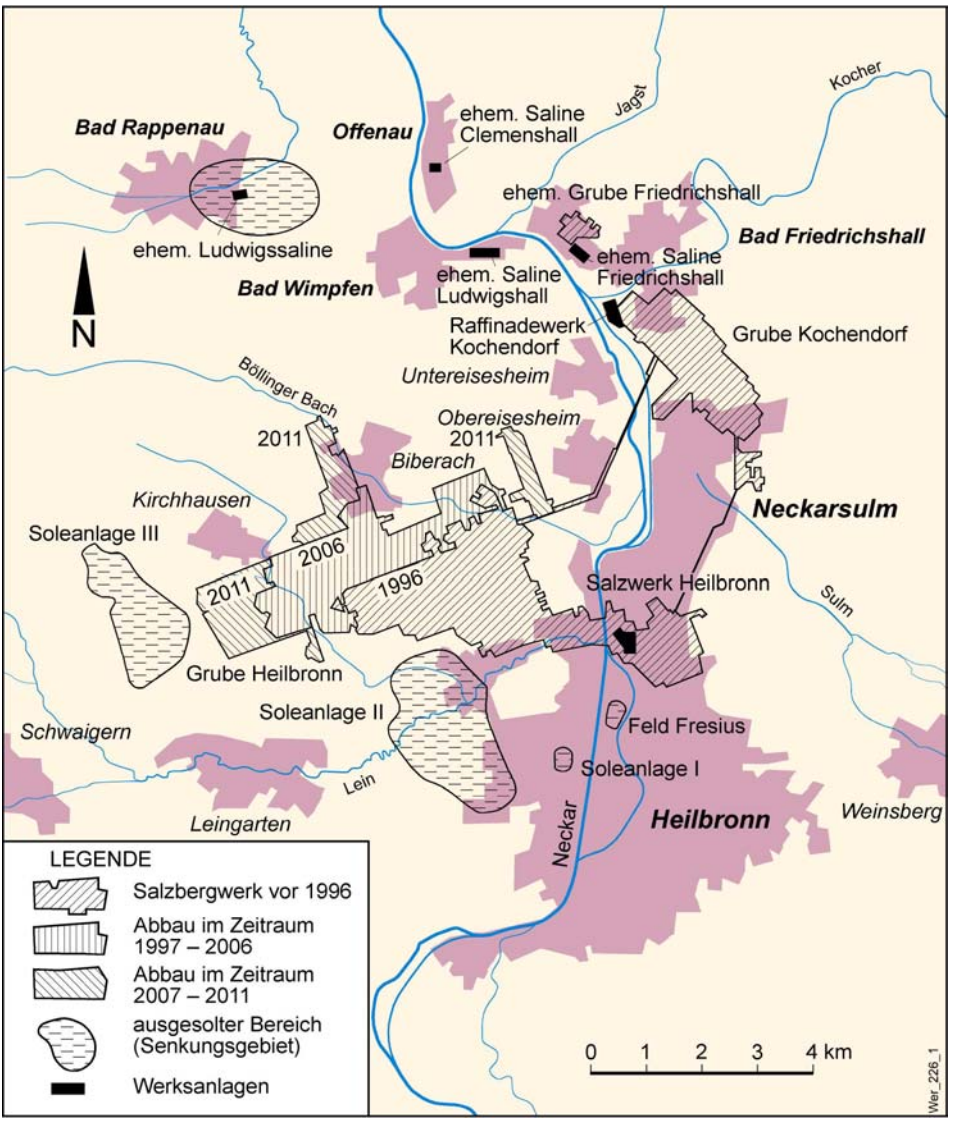

Abb. 13: Steinsalzbergwerke und frühere Soleanlagen im Gebiet Heilbronn – Bad Friedrichshall – Rappenau, Stand Ende 2011. Die Grube Friedrichshall in Jagstfeld ist 1895 wegen ungünstiger Abbaugeometrien verbrochen. Das Bergwerk Heilbronn wird seit 1885 betrieben, die Grube Kochendorf seit 1899. Das Verbundbergwerk Heilbronn–Kochendorf, eines der größten deutschen Steinsalzbergwerke, erhielt im Jahr 2011 eine neue Verbindungsstrecke. (Abbausstände nach Angaben der SWS AG).

Fig. 13: *Salt mines and former plants for brine production in the Heilbronn – Bad Friedrichshall – Rappenau area, end of 2011. The combined mines of Heilbronn and Kochendorf, one of the largest salt mines in Germany, got a new connecting-drift in 2011.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 14: Moderner Salzbergbau am Mittleren Neckar in einem der größten europäischen Steinsalzbergwerke. In der Grube Heilbronn der Südwestdeutschen Salzwerke AG werden seit 2006 sog. Continuous Miner zum Abbau des Muschelkalksalzes eingesetzt. Eine Gewinnung mit einer großen horizontalen Schneidewalze ist nur in sehr gleichmäßigen Lagerstätten sinnvoll. (Foto: Südwestdeutsche Salzwerke AG)

Fig. 14: *Modern salt mining with a so-called continuous miner in the Middle Triassic salt seam of Heilbronn (photograph by Südwestdeutsche Salzwerke AG).*

lange Zukunft haben kann. Aufgrund der relativ starken tektonischen Beanspruchung des Gebirges im Nahbereich des Hohenzollerngrabens kam es allerdings entlang von Bruchzonen zum Eindringen von Grundwässern, was zur verstärkten Auslaugung des Steinsalzlagers geführt hat (ROGOWSKI & SIMON 2005). Das brekziöse Auslaugungsgebirge besteht aus Anhydrit, Ton und örtlich etwas Gips. Durch entsprechende Vorfeld-Erkundungsarbeiten wird diesem Umstand Rechnung getragen.

Das Steinsalz des Mittleren Muschelkalks wird am Hochrhein im Gebiet **Rheinfelden–Riburg** durch Solebohrungen genutzt. Seit 1837 findet industrielle Soleproduktion statt; auf deutscher Seite wurde mit Stilllegung der Saline Rheinheim im Jahr 1993 die Solegewinnung eingestellt. Das Untere Salzlager ist im Gebiet Riburg fast 50 m mächtig, das Obere etwa 28 m. Die reinsten Partien der Halitgesteine in der Bohrung Riburg R-109 enthalten etwa 96 % NaCl, an unlöslichen Bestandteilen mit zusammen 4 % treten Anhydrit, Ton, Dolomit und Quarz auf (FISCHBECK et al. 2003).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 15: In geringmächtigen und wechselhaften Steinsalzlagerstätten ist der Einsatz der traditionellen Bohr- und Sprengtechnik wirtschaftlicher; im Bild ein Bohrwagen beim Vorbereiten der Sprenglöcher; Grube Stetten bei Haigerloch. (Foto: Hans-Peter Stolz, Pratteln)
Fig. 15: *In rock-salt seams of low thickness and high variability traditional mining with drilling and blasting is more efficient.*

Weitere wirtschaftlich interessante Steinsalzvorkommen sind aufgrund der Ablagerungsbedingungen während der Trias in einem ca. 30 km breiten, NNE–SSW verlaufenden Streifen vom Hochrhein bei Küssaberg über Villingen-Schwenningen, Tübingen, Stuttgart bis Schwäbisch Hall zu erwarten. Der in Abb. 17 gezeigten Karte liegen neben der Darstellung von WILD (1968) die Ergebnisse von zahlreichen Bohrungen zu Grunde, die seit 1968 hinzugekommen sind. Die Datenbasis umfasst derzeit 688 Bohrungen: 335 Bohrungen haben das Steinsalzlager erbohrt, 353 waren „nicht fündig“, haben aber sicher das Liegende der Salinar-Formation erreicht. Bei diesen muss davon ausgegangen werden, dass sie in Gebieten liegen, in denen das Steinsalzlager entweder bereits ausgelaugt wurde oder aber dass es triaszeitlich nicht zur Steinsalzsedimentation gekommen ist. Die fündigen Bohrungen sind vorwiegend industrielle Erkundungsbohrungen und daher dort konzentriert, wo Salzgewinnung früher umging oder heute noch betrieben wird. Außerhalb dieser Gebiete gibt es daher nur wenige verwertbare Bohrungen. Berücksichtigt wurden ferner die Salzmächtigkeitskarten in den LGRB-Gutachten über die Steinsalzlagerstätten Kochendorf, Heilbronn (1992, 1994) und Stetten (2005). Der in Abb. 17 dargestellten Kartenkonstruktion (LGRB 2009) liegen neben den Bohrergebnissen folgende Überlegungen zu Grunde:

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

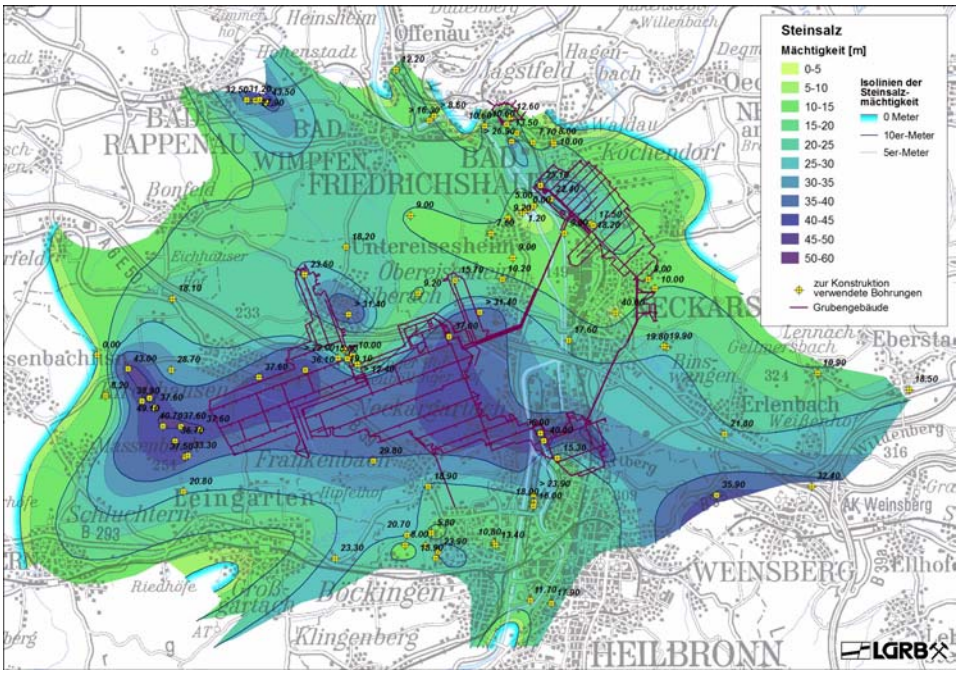

Abb. 16: Karte der Steinsalzmächtigkeiten im Gebiet Bad Rappenau – Bad Friedrichshall – Heilbronn, konstruiert anhand der Daten aus Bohrungen (gelbe Punkte). Rot: Umriss der Steinsalzbergwerke Kochendorf und Heilbronn; Abbaustand 2011. Isolinienkonstruktion: T. SIMON & E. ROGOSWKI, LGRB.

Fig. 16: *Isopach map of the rock-salt beds in the area of Bad Rappenau, Bad Friedrichshall and Heilbronn based upon drilling data (yellow dots). In red: Outline of the mines Heilbronn and Kochendorf in 2011 (construction by T. SIMON & E. ROGOSWKI, LGRB).*

(1) Überlagerungsmächtigkeit: Das Steinsalzlager ist bei einer geschlossenen Überlagerung des Mittleren Muschelkalks durch die Gesteine des Oberen Muschelkalks und großer Teile des Gipskeupers ganz oder weitgehend erhalten. Bei geringerer Überdeckungsmächtigkeit ist das Steinsalz meist ausgelaugt, „Restsalzkissen“ können aber noch vorhanden sein und durchaus wirtschaftliche Bedeutung erlangen. Außerhalb der Abbaugebiete wurde daher zur Konstruktion des im Untergrund vermuteten Salzhangs die Grenze Unterkeuper/Gipskeuper-Formation verwendet. Unter „Salzhang“ versteht der Bergmann den Übergang vom Steinsalzlager zum Auslaugungsgebirge.

(2) Tektonische Störungszonen: Im Bereich tief greifender Störungszonen wie z. B. der Neckar-Jagst-Furche, dem Fildergraben und dem Sindelfinger Graben ist das Steinsalzlager aufgrund erhöhter Gebirgsdurchlässigkeiten zumindest teilweise ausgelaugt. Diese tektonischen Strukturen wurden daher ebenfalls zur Konstruktion des vermuteten Salzhangs herangezogen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

(3) Paläogeographie: Nach Osten, zum ehemaligen Rand des Germanischen Beckens in der Mittleren Muschelkalkzeit, keilt das Steinsalz aus und verzahnt sich mit Wechselfolgen aus Mergelsteinen, Dolomitsteinen und Sulfatgesteinen. Die Grenze zwischen diesen Ablagerungsräumen ist wegen der wenigen Daten derzeit nur ungenau vorherzusagen. Der dargestellte Ostrand der Steinsalzverbreitung ist mit großen Unsicherheiten behaftet.

Infolge der unterschiedlichen Informationsdichte wurde die in Abb. 17 dargestellte Steinsalzverbreitung in Bereiche unterschiedlicher Aussagesicherheit unterteilt: (A) Steinsalz nachgewiesen oder wahrscheinlich (durch Daten belegt oder geologisch wahrscheinlich). (B) Steinsalz vermutet (keine Erkundungsdaten, aber nach den geologischen Kriterien zu vermuten) und (C) Steinsalz fraglich (wenige, aber geologisch nicht eindeutig interpretierbare Daten, z. B. Bohrungen in Störungszonen). Die Karte von WILD (1968) konnte aufgrund des verbesserten Datenbestands insbesondere im Hochrheingebiet zwischen Wyhlen und Rheinfelden, im Raum Waldshut sowie im Gebiet Baar und Obere Gäu zwischen Donaueschingen und Herrenberg verbessert werden.

Die Übersichtskarte der Abb. 17 zeigt, dass in großen Steinsalzverbreitungsgebieten kaum ausreichend tiefe Bohrungen existieren. Die Steinsalzmächtigkeitskarte für das gut untersuchte Gebiet um Heilbronn (Abb.16) gibt eine Vorstellung davon, mit welchen Mächtigkeitsschwankungen innerhalb des Steinsalzlagers zu rechnen ist. Wie zuvor ausgeführt, sind die Mächtigkeitsvariationen im Gebiet um Stetten ebenfalls erheblich. Im Prinzip ähnlich kleinräumige Schwankungen der Steinsalzmächtigkeit sind daher auch in anderen Gebieten Südwestdeutschlands zu vermuten.

Erkundung: Das im Zechsteinsalz häufig und erfolgreich angewendete geophysikalische Erkundungsverfahren des elektromagnetischen Radars (EMR) führte in den Bergwerken Kochendorf und Heilbronn trotz mehrfacher, ausführlicher Versuche nicht zum Erfolg. Aufgrund der grobspätigen Steinsalzstruktur und der damit verbundenen starken Streuung bzw. Dämpfung der Wellen eignet sie sich auch bei Verwendung niedriger Frequenzen nicht für eine Vorfelderkundung (GLA 1995). Diese wird im Salzbergbau bei Heilbronn daher bergmännisch, d. h. durch Erkundungsstrecken und kurze Bohrungen, vorgenommen. Auch hybridseismische Verfahren erlauben wegen sehr ähnlicher Laufzeiten der seismischen Wellen im Steinsalz und im umgebenden Anhydritstein der Sulfatschichten (s. Profil Abb. 11) noch keine klare Unterscheidung dieser Schichtglieder und damit auch keine Vorhersage der Steinsalzmächtigkeiten. Von Übertage abgeteufte Bohrungen sind wegen der Unsicherheit, ob das Bohrloch dauerhaft gegen eindringendes Süßwasser abgedichtet werden kann, nur in großen Abständen sinnvoll. Um Bohrlöcher, die bis in das Salinar reichen, müssen beim Bergbau Sicherheitspfeiler von rund Hundert Metern Durchmesser eingehalten werden (nach alter Württembergischer Polizeiverordnung; Mitt. R. PAUSE, SWS AG Heilbronn). Die Erkundungsmethoden sind also noch deutlich zu verbessern, um das Potenzial für den künftigen Steinsalzbergbau ermitteln zu können. Am aussichtsreichsten erscheint eine Kombination aus Kernbohrungen („Eichbohrungen“) und seismischen Verfahren. Wie bei der Suche nach Erdöllagerstätten könnten durch 3-D-Modellierung gewonnene Strukturmodelle Bereiche mit mächtigen Steinsalzlagern einengen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

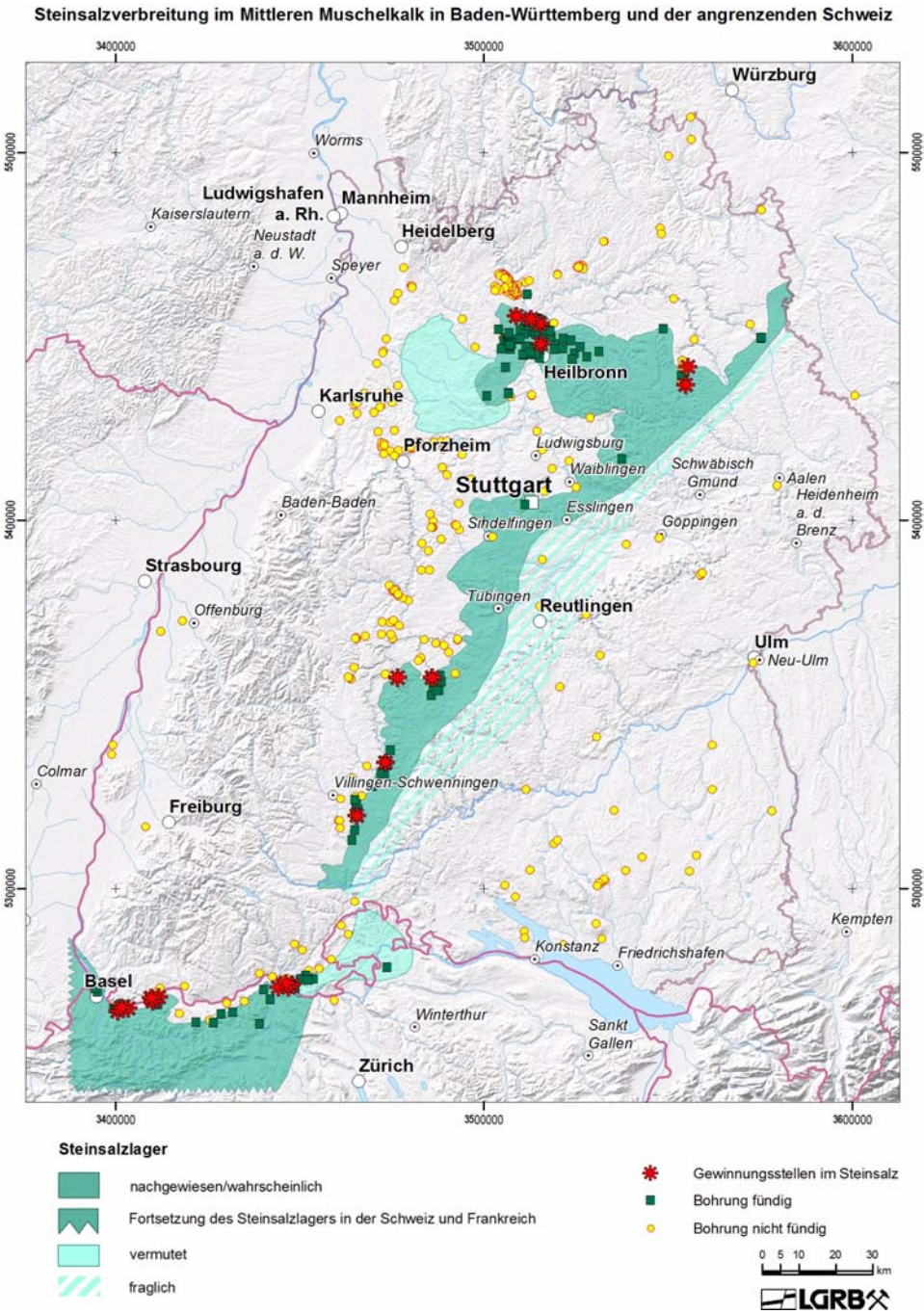

Abb. 17: Die Steinsalzverbreitung im Mittleren Muschelkalk Baden-Württembergs konstruiert auf Basis von Bohrungsdaten und genetischer Überlegung (s. Text), Stand 2009 (LGRB).

Fig. 17: *Occurrence of rock salt in Middle Triassic beds of Baden-Wuerttemberg, map construction is based on drilling data and genetic modelling.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

3.5 Eisenerze

Im Braun- bzw. Mitteljura Süddeutschlands treten ausgedehnte Lager oolithischer Brauneisenerze auf, die bis 1969 Ziel eines umfangreichen Bergbaus über und unter Tage waren (Abb. 18 und 19). Wie die eisernen Hüte über den hydrothermalen Gängen im Schwarzwald oder die Bohnerze der Karstgebiete der Schwäbisch-Fränkischen Alb und in der Vorbergzone am südlichen Oberrhein waren sie meist schon zu keltischer Zeit, spätestens aber seit der römischen Periode, Gegenstand des Bergbaus. In Aalen-Wasseralfingen wurde besonders lange Eisenerz gewonnen, nämlich von 1608 bis 1939. Die oolithischen Erzlager mit ihren relativ niedrigen Eisengehalten erlangten aber erst richtig Bedeutung, als durch den Versailler Vertrag von 1919 das wichtigste Eisenerzgebiet des Deutschen Reichs, nämlich das in Lothringen, nicht mehr zur Verfügung stand (ALBIEZ 1982). Schwerpunkte des Eisenerzbergbaus in Südwestdeutschland lagen dann am südlichen Oberrhein (Kahlenberg bei Ringsheim, Ortenaukreis, und am Schönberg bei Freiburg i. Br.) sowie bei Blumberg, Aalen, Wasseralfingen und Geislingen a. d. Steige (Abb. 18).

Das karbonatische Eisenerz aus Süddeutschland war für den Fließprozess („Schlackenbildner“) im Hochofen nicht mehr von Bedeutung, als sich die Verhüttungsmethoden an Rhein und Ruhr änderten; zudem konnten die hochwertigen Eisenerze aus Skandinavien, Brasilien, Südafrika und Australien immer günstiger geliefert werden. In der Folge gingen die Eisenerzbergwerke Stück für Stück ein: Die Gewinnung wurde bei Aalen-Wasseralfingen 1939, bei Freiburg-St. Georgen 1943, bei Geislingen a. d. Steige 1962 und bei Rings-

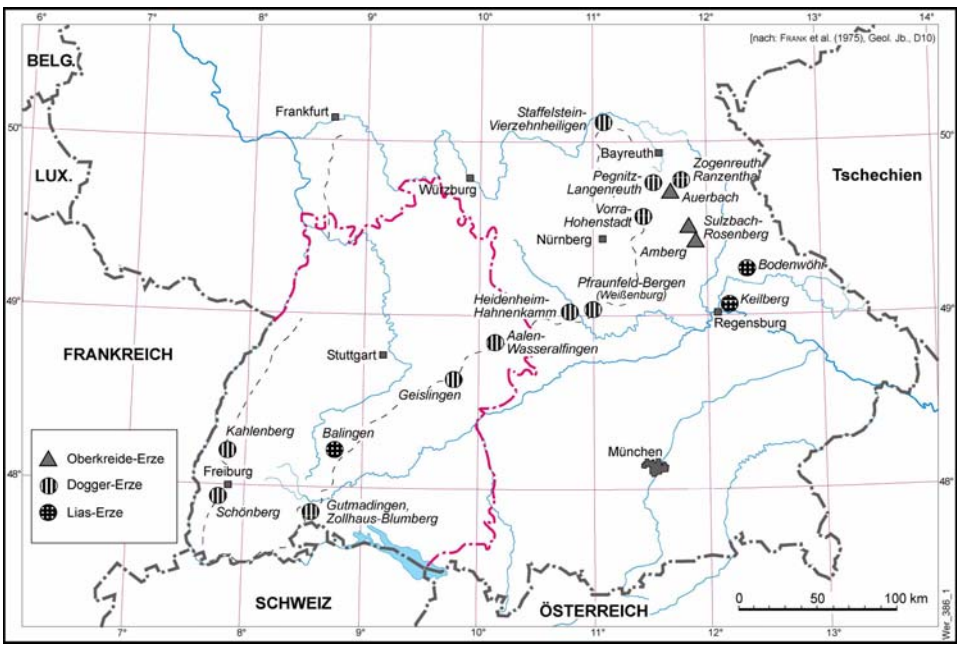

Abb. 18: Frühere Abbaustandorte von sedimentären Eisenerzen in Süddeutschland (nach: FRANK et al. 1975); in Baden-Württemberg waren vor allem die oolithischen Braunjura-Erze im Zeitraum 1608–1969 von wirtschaftlicher Bedeutung.

Fig. 18: *Former sites of iron-ore mining in SW-Germany (after: FRANK et al. 1975); in Baden-Wuerttemberg mainly oolithic iron ores were of economic importance.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

heim 1969 eingestellt. Im Wesergebirge ist seit 1883 mit der Grube Wohlverfahrt-Nammen noch ein Bergwerk in Eisenerzflözen in Betrieb, jedoch werden die hier gewonnenen „eisenschüssigen Korallenoolithe“ heute nicht mehr zur Eisengewinnung sondern für den Verkehrswegebau, für die Zementindustrie und den Garten- und Landschaftsbau genutzt (http://www.barbara-erzbergbau.de).

Die Eisenoolithlager im Braunjura Baden-Württembergs bestehen vorherrschend aus Karbonaten, Quarz und Limonit (Abb. 19); chemische Analysen sind bei FRANK et al. (1975) zu finden. Die eisenhaltigen Sandsteinkörper entstanden im Flachmeerbereich, was erklärt, warum diese Lagerstätten vergleichsweise geringe laterale Materialwechsel aufweisen. Als durchschnittliche Fe-Gehalte und nutzbare Mächtigkeiten der Mitteljura-Eisenerzflöze (Aalenium, Callovium) Baden-Württembergs wurden ermittelt: (1) Kahlenberg bei Ringsheim: 18 % Fe, 10–12 m, (2) Schönberg bei Freiburg: 20 % Fe, 4–7 m; (3) Blumberg und Gutmadingen: 23 % Fe, 3–6 m; (4) Geislingen a. d. Steige: 35 % Fe, 2,2 m; (5) Aalen und Wasseralfingen: 26 % Fe, 1,4–2 m (FRANK et al. 1975).

Die Eisenerzlager am Oberrhein sind aufgrund ihrer Position am östlichen Grabenrand jedoch tektonisch kompliziert aufgebaut (Abb. 20), die Lager der Schwäbischen Alb hingegen vergleichsweise ruhig gelagert. Die geologischen Vorräte dürften vor allem im Untergrund der Schwäbischen Alb beachtlich sein. Diese sedimentären Eisenerze des Mitteljuras können langfristig ein Potenzial für eine erneute Eisenerzgewinnung darstellen, wenn es mit modernen Aufbereitungsmethoden gelingt, die Eisengehalte im Konzentrat wesentlich zu erhöhen. Zu Betriebszeiten konnten durch magnetische Trennung die Erze max. auf 37 % Fe angereichert werden (WALTHER 1986). Allerdings war der Erzbergbau unter Tage wegen der Erfordernis des großflächigen Abbaus in einem gering standfesten Gebirge stets aufwändig.

Abb. 19: Oolithisches Eisenerz aus dem Braunjura Baden-Württembergs, Eisenooide in einer Matrix aus Karbonaten. Herkunft: Schönberg bei Freiburg; lange Bildseite entspricht 10 mm.
Fig. 19: *Oolithic iron ores in a carbonate matrix, Middle Jurassic beds in Baden-Wuerttemberg. Origin: Schönberg mine near Freiburg. Long side of picture is equivalent to 10 mm.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

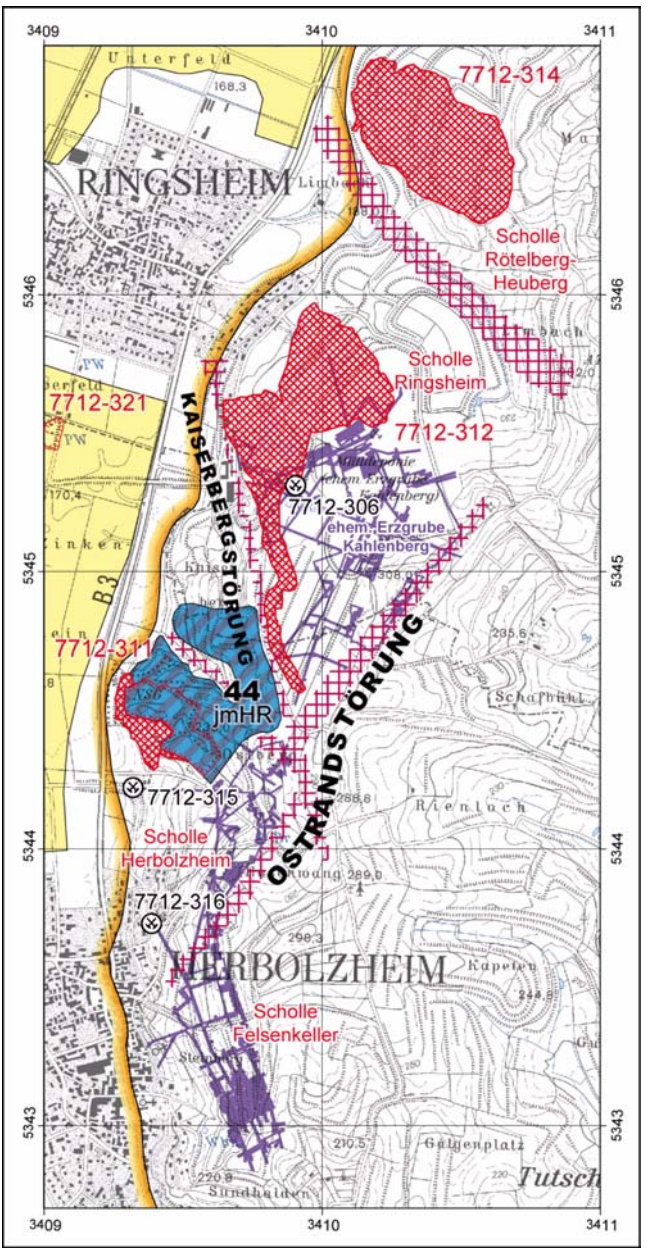

Abb. 20: Eisenerzbergbau in Grube Kahlenberg bei Ringsheim, Darstellung der Tagebaue (rote Schraffur) und der Tiefbaue (violette Strecken). In der Betriebszeit der Grube 1939–1969 wurden aus den Tagebauen und dem Bergwerk 14,5 Mio. t Eisenerze mit einem Eiseninhalt von 2,9 Mio. t gefördert. Karte aus: POSER & KLEINSCHNITZ (2011).

Fig. 20: *Iron-ore mine Kahlenberg near Ringsheim with open pit (redish hatchures) and underground mine (purple). Between 1939 and 1969 14.5 Mt iron ore were exploited, which is equivalent to 2.9 Mt of iron metall. Map taken from: POSER & KLEINSCHNITZ (2011).*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

3.6 NE-Metallerze

Erze von Nichteisenmetallen wie Kupfer, Blei, Zink, Kobalt, Wismut, Antimon, Nickel, Wolfram usw. sowie von Uran treten in Baden-Württemberg in nennenswerten Konzentrationen nur auf den hydrothermalen Gängen des Schwarzwalds auf. Wirtschaftlich interessante Anreicherungen wurden bei den Blei-, Zink-, Kupfer, Silber- und Uranerzen, lokal auch bei Erzen mit Kobalt, Wismut und Antimon nachgewiesen. Die Hauptwertminerale auf diesen störungsgebundenen Vererzungen sind aus heutiger Sicht aber Fluss- und Schwerspat (Kap. 3.7). Die häufigsten Gangminerale sind Quarz, Baryt, Fluorit, Calcit, Dolomit und Siderit. Die genannten Metallerze machen im Durchschnitt nur wenige Prozent der Gangmasse aus. Wie die **Zink- und Bleierz-reichen Gänge** am Schauinsland zeigen, gibt es aber auch Ausnahmen (Abb. 21); die bis 900 m unter Gelände nachgewiesenen Erzgänge enthalten neben durchschnittlich 7 % Zink und Blei auch interessante, früher aber nicht beachtete Gehalte an anderen Metallen wie Indium, Germanium und Gallium. Vor genau zehn Jahren ist in den Berichten der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br. ein Sonderheft über diese metallreichen Hydrothermalgänge am Schauinsland erschienen (WERNER et al. 2002). Durch strukturgeologische, geochemische und geochronologische Untersuchungen wurde erkannt, dass die Vererzung nicht – wie noch bis in die frühen 1990er Jahre allgemein angenommen wurde – oberkarbonisch-permischen Alters ist (SCHNEIDERHÖHN 1929), sondern dass sie mit der tertiärzeitlichen Grabentektonik in Verbindung steht. Damit wurde das erste Genesemodell zur Gangentstehung (LANG 1903) fast ein Jahrhundert später bestätigt. Viele zinkblendereichen Gänge im Mittel- und Südschwarzwald, deren Entstehung in den Zeitraum Oberjura bis Jungtertiär einzustufen ist, sind bislang nur bis zur Talsohle oder wenig darunter untersucht worden; weitere Vererzungen vom Schauinsland-Typ sind daher nicht auszuschließen.

In den vielen Beschreibungen des historischen Bergbaus im Schwarzwald (z. B. METZ 1980, BLIEDTNER & MARTIN 1986, WERNER & DENNERT 2004, MARKL 2005) ist meist von „Silberbergbau“ die Rede. **Silberbergbau** im eigentlichen Sinne gab es aber nur an wenigen Stellen, überwiegend war es im Schwarzwald ein Eisen-, Blei- oder Kupferbergbau. Ausnahmen sind der Silberberg bei Wittichen mit seinen gediegenen, d. h. rein metallischen Silberanreicherungen im vergrusten Granit und die Grube Wenzel bei Oberwolfach mit ihren Silber- und Antimonerzen Allargentum und Dyskrasit. Beide Vererzungstypen unterscheiden sich in den Gangarten und Metallerzen ganz deutlich von den anderen Hydrothermalgängen des Schwarzwalds, in denen als Silberträger fast ausschließlich Bleiglanz und Fahlerz in einer Gangart aus Quarz, Baryt und Fluorit auftreten. Eine Kompilation der in der Literatur und am LGRB verfügbaren Silberanalysen erbringt, dass die Schwarzwälder Gangerze durchschnittliche Silbergehalte von 0,1–0,2 % aufweisen; die Gänge selbst enthalten im Mittel 1–3 % Metallerze (WERNER 2012). Trotzdem kann die Gewinnung der Erze wirtschaftlich interessant sein, wie das Beispiel der Grube Clara zeigt, wo seit 1997 über eine spezielle Flotationsstufe Silberfahlerz angereichert wird (NELLES 2006).

Über die **Uranmineralisationen** im Schwarzwald gibt es eine umfangreiche Literatur. Erste Prospektionsarbeiten auf Pechblende fanden schon 1911–1914 und 1918–1922 statt (KIRCHHEIMER 1957, 1982). Im Jahr 1950 begann das Geologische Landesamt mit den Forschungs- und Prospektionsarbeiten im Schwarzwald und war hinsichtlich der Erkundung ein Vorreiter in Deutschland. Vor allem in Quarz-Hämatitgängen und Alterationszonen auf tektonischen Störungen treten im Schwarzwälder Kristallin Urananreicherungen auf. Für die an kohlige Tonsteine und Arkosen des Oberkarbons gebundenen Mineralisationen bei Müllenbach im Oostrog (im Gebiet zwischen Baden-Baden und Gernsbach) geht man von einer syndiagenetischen Urananreicherung aus.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 21: Nur wenige Hydrothermalgänge im Schwarzwald bestehen überwiegend aus Metallerzen. Die Gänge am Schauinsland bei Freiburg sind eine Ausnahme: Eisenreiche Zinkblende (dunkel) mit Baryt und Quarz (gelblichbraun, weiß). Lokalität: Gang VI, 4. Feldstrecke über Kapplersohle, Grube Schauinsland. (Aufnahme: G. BORG 2001)

Fig. 21: *Only a few hydrothermal veins in the Black Forest consist mainly of ores. The veins in the Schauinsland mine near Freiburg are an exception: iron-rich sphalerite (dark) with barite and quartz (light). Photograph by G. Borg.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

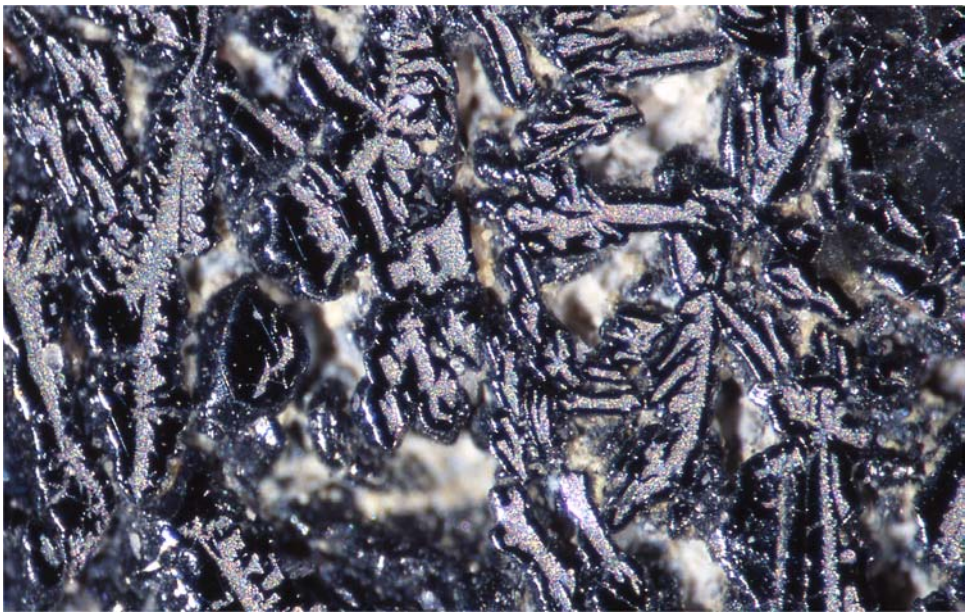

Abb. 22: Gediegen Wismut (rötlich-silbern glänzend), umkrustet von Pechblende (schwarz). LGRB-Sammlung, Fundort: Sophia-Halde, Silberberg bei Wittichen; lange Bildseite entspricht 0,2 cm.
Fig. 22: *Native bismuth (glittering redish-silver), coated by pitchblend (black); mine dump of Sophia mine, Wittichen, central Black Forest. Long side of picture is equivalent to 0,2 cm.*

Spektakulär hinsichtlich der Mineralisation und Paragenese sind die Uranerze mit Wismut, Kobalt und Silber am Silberberg in Wittichen (Abb. 22). Die Kompilation und lagerstättengeologische Bewertung der Erkundungsbohrprogramme, die bei Wittichen im Zeitraum 1949–1979 von Geologischem Landesamt und Industrie durchgeführt worden waren, erbrachte, dass es sich um eine flachgründige Vererzung im Übergangsbereich von alteriertem granitischem Grundgebirge zu klastischen Sedimenten des Deckgebirges (Rotliegend) handelt; weitere Silber-, Kobalt- und Uran-Vererzungen sind am ehesten entlang der paläozoischen Erosionsdiskordanz zu erwarten (Werner 2006). Hinsichtlich der Urangehalte am bedeutendsten ist die Ganglagerstätte Krunkelbach im Bärhaldegranit bei Menzenschwand (Feldberggebiet), über die Markl & Wolfsried (2011) eine aktuelle Zusammenfassung der Kenntnisse präsentiert haben. In der Grube Krunkelbach wurden im Zeitraum 1961–1991 rund 100 000 t Uranerz gefördert, aus dem 720 t Urankonzentrat gewonnen werden konnten. Die Förderung wurde nicht wegen Erschöpfung der Lagerstätte, sondern aufgrund massiver Widerstände aus der Bevölkerung und von Umweltverbänden eingestellt. Die nach der Schließung verbliebenen wahrscheinlichen und möglichen Vorräte belaufen sich auf 2000–4000 t U_3O_8 (Steen 2004).

Nickelhaltige Sulfiderze treten in unregelmäßigen Nestern in tektonischen Scherzonen innerhalb von hochmetamorphen, basischen Gesteinen (Gneisanatexiten) mit nickelhaltigem Magnetkies, Pyrit, Markasit, Pentlandit und Kupferkies bei Horbach-Wittenschwand und Todtmoos-Mättle auf. Kleine Vorkommen von **Wolframerzen** mit Scheelit und untergeordnet Wolframit, meist an basische Gesteine, Quarz- oder Quarz-Fluorit-Gänge gebunden, konnten im Rahmen industrieller Prospektion im Zentral- und Südschwarzwald an vielen Stellen nach-

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

gewiesen werden (WERNER et al. 1990), jedoch sind ihre Gehalte überall subökonomisch. Lokal treten auch Pegmatite oder kleine pneumatolytische Mineralisationen mit Spuren von Zinn auf, so z. B. im Triberger Granit. Spuren von **Berggold** sind bisweilen in hämatitführenden Quarzgängen und in Verkieselungszonen innerhalb der Badenweiler-Lenzkirch-Zone zu finden; bei Sulzburg wurde eine stark absätzige Mineralisation in verkieselten Vulkaniten und Konglomeraten der Badenweiler-Lenzkirch-Zone intensiver erkundet. Einzelne schmale Quarzgänge im Kinzigtal führen Spuren von Freigold.

Auch die in den letzten Jahren viel beachteten **Seltene-Erden-Elemente** (SEE) sind in heimischen Lagerstätten anzutreffen. Bekannt ist das Auftreten von Cer führendem Nioberz, dem Koppit, im Karbonatit des Kaiserstuhls (ein Cer haltiger Pyrochlor, $Ca_2Nb_2O_7$). Der in den Jahren 1935–1938 und 1949–1952 durchgeführte Versuchsbergbau am Orberg bei Schelingen wies Nb_2O_5-Gehalte von 0,2 bis 0,7 % nach, was Koppit-Anreicherungen von 0,35–1,6 % entspricht (Beschreibung bei: WITTENBRINK & WERNER 2010). Höchste Gehalte mit 1,4 % Nb_2O_5 traf man im Stollen der „Koppitgrube Schelingen“ am Orberg im brekziösen Übergangsbereich von alkalibasaltischen Pyroklastiten und in diese eingedrungenen Karbonatitgängen an. Große Aufmerksamkeit wird z. Zt. einem anderen Nb-reichen Karbonatitkörper zuteil: Schon zu DDR-Zeiten wurde im Rahmen der Uranprospektion westlich von Delitzsch (Sachsen) ein stockförmiger Karbonatit entdeckt. Wegen seiner interessanten Gehalte an leichten SEE wie Cer, Lanthan, Praseodym und Neodym und hohen Y- und Nb-Gehalten wird er derzeit intensiv erkundet. Die Reserven werden auf ca. 40 000 Tonnen SEE (SEE_2O_3) und 8 700 Tonnen Niob (Nb_2O_5) geschätzt (Deutsche Rohstoff AG, Stand August 2012, http://www.rohstoff.de). Falls die SEE-Preise weiter steigen sollten, könnte auch der Karbonatitkörper im Kaiserstuhl wieder in den Focus der Prospektionsfirmen geraten. Ob die Fluoritgänge des Schwarzwalds ein interessantes Potenzial aufweisen, wurde noch nicht geprüft. MÖLLER et al. (1982) nutzten die oft erhöhten SEE-Gehalte der Gänge, insbesondere die beobachtete Fraktionierung dieser Elemente, für genetische Interpretationen.

Nach allem was wir bis heute über die Hydrothermalgänge des Schwarzwälder Grundgebirges wissen, ist eine Metallerzgewinnung nur in Kombination mit dem Spatbergbau sinnvoll. Die Größe dieser Gänge ist aber im Vergleich mit anderen mitteleuropäischen Ganglagerstätten recht beachtlich, wie nachfolgend ausgeführt wird. Viele heute stark nachgefragten Metalle hatten früher eine geringere wirtschaftliche Bedeutung und konnten aus analytischen Gründen nur mit großem Aufwand nachgewiesen werden. Es ist daher zu erwarten, dass in den vielen bislang kaum untersuchten Ganglagerstätten noch interessante Potenziale an Metallerzen nachgewiesen werden können.

3.7 Fluss- und Schwerspatgänge

Im Schwarzwald existieren viele Hundert Mineralgänge mit Mächtigkeiten von 1 m und mehr. Die größten bekannten Hydrothermalgänge sind zwischen 3 und 30 m breit und reichen mindestens 900–1000 m tief. Hauptgangminerale sind i. d. R. Schwerspat und Flussspat; häufigster Begleiter ist Quarz. Karbonate sind meist vertreten, aber mengenmäßig nur auf wenigen Gängen von Bedeutung. Metallerze sind, wie erwähnt (Kap. 3.6), nesterartig bzw. dispers über die Gangmasse der Fluss- und Schwerspatgänge verteilt, seltener treten sie in Bändern oder derben Massen auf (Abb. 21 und 23).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Größenvergleich: Wie sind diese Schwarzwälder Hydrothermalgänge im Vergleich zu einem der größten Lagerstättenreviere Mitteleuropas, dem Erzgebirge und seinem Umfeld, zu bewerten? Wie eingangs geschildert, mangelt es in Südwestdeutschland – anders als in Sachsen – seit Jahrzehnten an industriellen oder staatlichen Erkundungsprogrammen. Nach Firmenangaben und aus der Literatur, in der aber nur selten konkrete Zahlen zu Vorräten zu finden sind, lassen sich zumindest nachfolgende Angaben zu gesicherten bis möglichen Vorräten an Erz- und Mineralgängen im Schwarzwald zusammenstellen. Die genannten Lagerstätten liegen im Nord-, Zentral- und Südschwarzwald:

- **Käfersteige** bei Pforzheim (Nordschwarzwald): 1935–1996 Förderung von 2 Mio. t Flussspathaufwerk, bergmännische Vorräte > 5 Mio. t mit 50 % CaF_2, Gangmächtigkeiten 5–30 m, geologische Vorräte vermutlich >> 10 Mio. t.
- **Clara** bei Oberwolfach (nördlicher Zentralschwarzwald): mindestens 10 Mio. t, davon seit 1903 abgebaut 7 Mio. t.
- **Schauinsland** (südlicher Zentralschwarzwald): 1,2 Mio. t abgebaut, 0,5 Mio. t bergbauliche Vorräte (19. und 20. Jh.), zzgl. historischem Abbau. Gesamtvorräte > 2 Mio. t
- **Revier Wieden** (Südschwarzwald): 0,62 Mio. t erkundete Restvorräte + abgebaute 1,26 Mio. t = 1,88 Mio. t, geschätzte geologische Vorräte: >> 10 Mio. t.

Abb. 23: Typischer Schwarzwälder Spatgang: Grobspätiger, durchscheinender bis hellvioletter Fluorit, weißer Baryt, imprägniert durch Zinkblende (schwarz). Anpoliertes Gangstück aus der Grube Segen Gottes bei Haslach i. K.; Bildbreite entspricht 25 cm.
Fig. 23: *Typical barite-fluorite vein of the Black Forest: coarse-grained transparent to pale purple fluorite, white barite, sphalrite (black). Polished rock slab from Segen Gottes mine near Haslach, Kinzigtal. Long side of picture is equivalent to 25 cm.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Die Beispiele zeigen, dass bei den Schwarzwälder Spatlagerstätten jeweils mit Vorräten um bzw. über 10 Mio. t zu rechnen ist. In Abb. 24 ist ein graphischer Vergleich zwischen einigen bedeutenden Spatgruben des Erzgebirges sowie des Vogtlands und der am besten bekannten Gangstruktur des Schwarzwalds, der Grube Clara, vorgenommen. Nach HÖSEL et al. (1997) liegen die Gesamtspatvorräte der Gruben Schönbrunn und Bösenbrunn bei 4 Mio. t (davon 2 Mio. t abgebaut), in Brunndöbra bei 3,6 Mio. t (davon 0,9 Mio. t abgebaut) und in Niederschlag bei 3,3 Mio. t; in der Fortsetzung der Lagerstätte auf tschechischem Gebiet sind weitere 2,5 Mio. t nachgewiesen. Die Spatgrube Niederschlag befindet sich derzeit in Herrichtung; im Oktober 2010 wurde mit dem Bau der Rampe begonnen. Der Schwerspat aus dem Erzgebirge ist oft eisenreich (daher oft rot bis rosa gefärbt), der aus dem Schwarzwald meist rein weiß. Der Vergleich zeigt, dass einige Spatlagerstätten in Baden-Württemberg deutlich größer sind, als die im Erzgebirge. Die tektonischen und lithologischen Verhältnisse waren im Schwarzwälder Kristallin offenbar, wie nachfolgende Beispiele zeigen, besonders günstig für die Bildung zahlreicher, tief reichender Spatgänge.

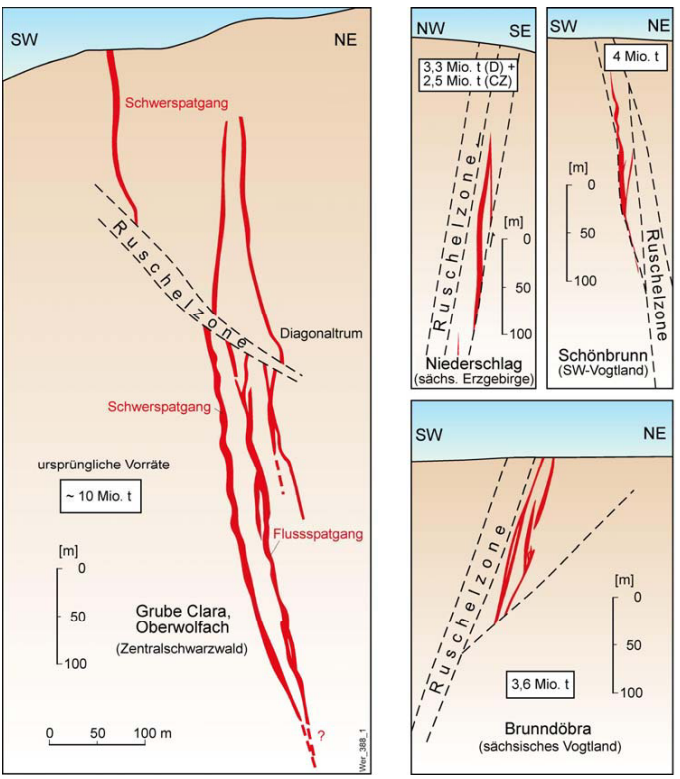

Abb. 24: Schematischer Größen- und Vorratsvergleich der Gänge der Grube Clara im Mittleren Schwarzwald mit großen Spatgängen aus dem Erzgebirge und dem Vogtland.
Fig. 24: *Comparison of size and reserves between the lode deposit of the Clara mine, central Black Forest, and the barite-fluorite lodes in the Erzgebirge and Vogtland.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Einzelbeispiele von Fluss- und Schwerspatgängen

Zu den größten Ganglagerstätten Europas gehört der bis 30 m mächtige Flussspatgang der **Grube Käfersteige** bei Pforzheim, der mindestens bis ca. 500 m unter Tage bauwürdige Mächtigkeiten und Gehalte aufweist, darunter fehlen Erkundungsdaten. Anders als die Gänge im mittleren oder südlichen Schwarzwald enthält er allerdings rund 50 % Quarz in feiner Verwachsung mit Fluorit. Der Spatbergbau begann bei Pforzheim im Jahr 1935. Der in den letzten Jahrzehnten auf die Herstellung von Säurespat ausgerichtete Abbau wurde aber 1997 eingestellt, weil Flussspat-Billigimporte aus China für einen starken Verfall des Weltmarktpreises sorgten. Der Schließungsbeschluss der Eigentümerin, der Bayer AG Leverkusen, traf den Grubenbetrieb überraschend, und die Verwahrungsarbeiten erfolgten so schnell, dass für eine sorgfältige Dokumentation und Klassifikation der nachgewiesenen bergmännischen Vorräte offensichtlich keine Kapazitäten frei waren. Die Wiederinbetriebnahme einer Grube mit einem hohen Anteil von versetzten und teilversetzten Grubenräumen ist technisch aufwändig und kostspielig. Seit dem Jahr 2004 wird die Wiederinbetriebnahme der Grube Käfersteige von wechselnden Interessenten in Erwägung gezogen. Wegen der hohen Kosten der Wiederinbetriebnahme, der unsicheren Vorratssituation und der zu erwartenden hohen Betriebskosten, die vor allem auf den feinen Verwachsungsgrad von Quarz und Fluorit (Aufbereitung) sowie auf die großen Mengen von aus dem verkieselten, stark zerklüfteten Buntsandstein zusetzendem Wasser zurückgehen, konnte sich noch keine Firma dazu entscheiden, obwohl der Eigentümer der Bergrechte und die Stadt Pforzheim Unterstützung zur Wiederinbetriebnahme zugesagt hatten.

Ein großes Potenzial deutet sich in der westlichen Fortsetzung des Käfersteige Ganges bei Neuenbürg an. Genauer bekannt sind hier nur die zahlreichen und lang aushaltenden Gangausbisse und die Vererzungen des Eisernen Hutes (Beschreibungen in: KIMMIG & KESTEN 2010). Die lagerstätten- und strukturgeologischen Verhältnisse sind aber sehr ähnlich wie an der Käfersteige. Ein interessantes und für die Zukunft möglicherweise wichtiges Gangrevier ist außerdem das bei Freudenstadt (s. u.).

Die bedeutendste Fluss- und Schwerspatgrube Deutschlands ist die von der Sachtleben Bergbau GmbH betriebene **Grube Clara** bei Oberwolfach im Mittleren Schwarzwald (Abb. 25 und 26). Die Anfänge des Bergbaus sind sicherlich ins Mittelalter zu stellen, aber erst ab 1652 gibt es erste Urkunden, die von tiefen alten Bergbauschächten berichten. 1726 wurden die Grubenbaue zur Suche nach Kupfererzen aufgewältigt; die Grube wurde nun „Clara“ genannt. Im Jahr 1850 begann der Kinzigtäler Bergwerksverein mit dem Schwerspatabbau. Der neuzeitliche Bergbau wurde durch den Bedarf an lichtechten und chemisch stabilen Farbrohstoffen, für die reinweiße Barytmehle benötigt werden, ausgelöst. Mit Gründung der Schwarzwälder Barytwerke im Jahr 1898 begann die bis heute andauernde Bergbauaktivität. Anfang der 1970er Jahre stieg auch wieder das Interesse am Mineral Fluorit an, weshalb eine Exploration auf die flussspatreichen Lagerstättenabschnitte im Gangsystem der Grube Clara (Abb. 26) aufgenommen wurde. Die Flussspatflotation wurde 1978 begonnen. Im Zeitraum von 1903, dem Anfang der regelmäßigen Aufzeichnung von Fördermengen, bis Ende 2011 wurden insgesamt 6.971.394 t Schwer- und Flussspat abgebaut (Mitt. M. NELLES, Jan. 2012). In der Grube Clara können drei verschiedene Gänge genutzt werden (HUCK 1986, WERNER & DENNERT 2004, NELLES 2006):

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

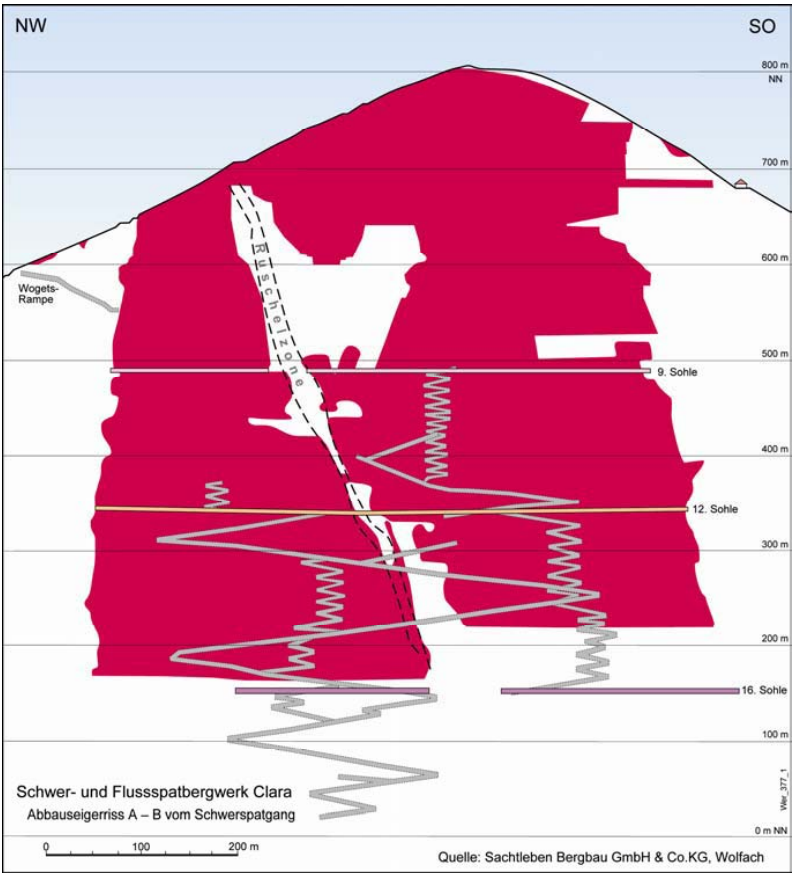

Abb. 25: Abbauseigerriss vom Schwerspatgang der Grube Clara nach Angabe der Fa. Sachtleben Bergbau GmbH, Juni 2010; Zeichnung LGRB. Der Abtransport des Förderguts erfolgt über Rampen und Wendeln.
Fig. 25: *Mined portions of the barite vein in the Clara mine according to data by Sachtleben Bergbau GmbH, June 2010.*

Der **Barytgang** (Abb. 25 und 26) weist Mächtigkeiten zwischen 3 und 4 m auf und besteht durchschnittlich aus 70–80 % Baryt, 10–20 % Fluorit und 5–20 % Quarz sowie einigen Prozenten an anderen Mineralen und Nebengesteinseinschlüssen. Nach derzeitiger Kenntnis weist der durchschnittlich 3,5 m mächtige Schwerspatgang eine Länge von ca. 600 m und eine Tiefenerstreckung von mehr als 800 m auf.

In der **Flussspatgangzone** treten mindestens fünf Fluoritgänge mit Mächtigkeiten über 1 m auf, weitere mit Mächtigkeiten um 0,5 m und viele Trümer im cm- und dm-Bereich (pers. Mitt. K. H. Huck). Besonders in den oberen Gangabschnitten sind diese Gänge zum Teil sehr schwerspatreich. Der Flussspatgang ist im Mittel 3–3,5 m mächtig, etwa 400 m lang und besitzt eine Tiefenerstreckung von ebenfalls mindestens 800 m.

Das Diagonaltrum ist im oberen Teil quarzreich, erlangte aber mit größerer Abbautiefe auf der Grube Clara zunehmend an Bedeutung, weil der Anteil an Fluorit und Baryt zunahm. Die Mächtigkeit schwankt zwischen 0,5 und 6 m, durchschnittlich liegt sie bei 2,5 m. Der Gang ist ca. 500 m lang, seine Tiefenerstreckung noch nicht ermittelt.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

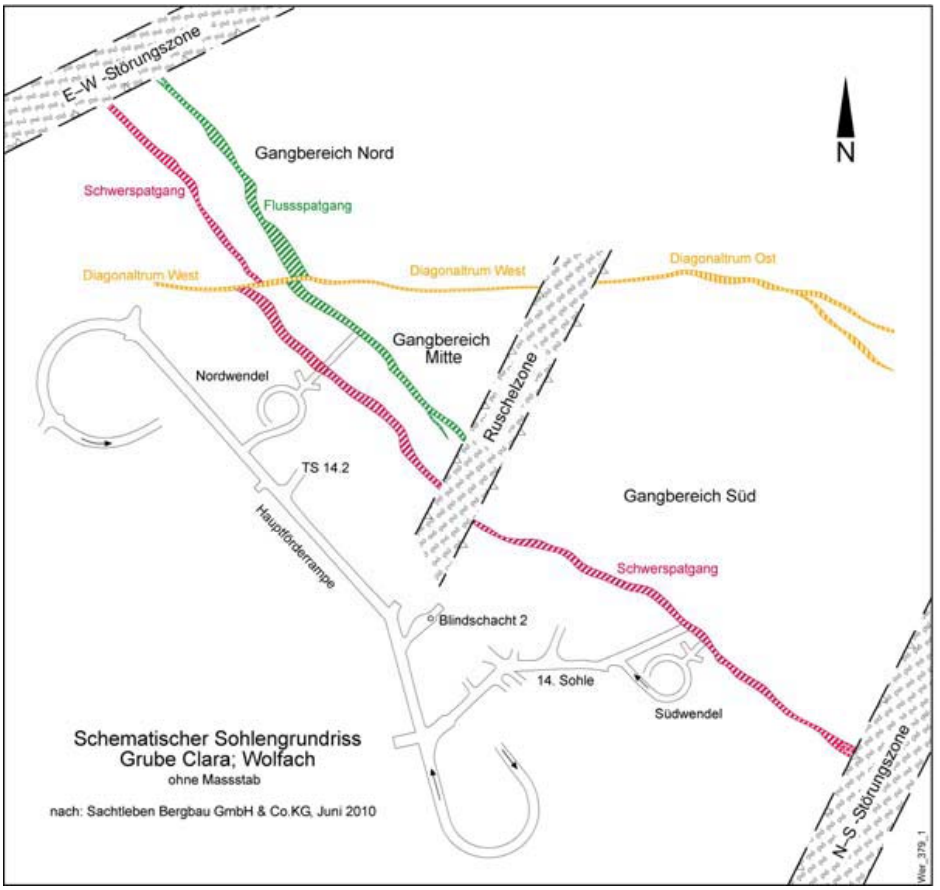

Abb. 26: Sohlengrundriss mit Verlauf der drei wirtschaftlich wichtigen Gänge der Grube Clara bei Oberwolfach. Nach Angaben der Fa. Sachtleben Bergbau GmbH, Juni 2010; Zeichnung LGRB.
Fig. 26: *Floor plan of the Clara deposit illustrating the three veins of economic significance. After data by Sachtleben Bergbau GmbH, June 2010.*

Der Bergbau auf der Grube Clara hat im Jahr 2011 die 800 m Sohle bereits unterschritten, ein Ende der Lagerstätte ist nicht in Sicht. Während am Schauinsland oder auf der Grube Finstergrund bei Wieden mit zunehmender Tiefe der Quarzanteil auf Kosten der Wertminerale ansteigt, erhöht sich auf den Clara-Gängen zur Tiefe der Anteil des Fluorits. Auch die hydrogeologische Situation auf der tiefen Grube stellt sich aufgrund der Einrahmung der Lagerstätte durch mächtige, tonige Kataklasite (Ruscheln) günstig dar: Nach Mitteilung des Betriebs sind die zusetzenden Mengen an Niederschlags- bzw. Formationswasser seit Jahrzehnten trotz zunehmender Abbautiefe konstant geblieben – ein Glücksfall, denn Wasserhaltung ist ein wesentlicher Kostenfaktor beim Betrieb eines Bergwerks.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Ist die Lagerstätte des seit 1850 fast ohne Unterbrechung betriebenen Spatbergwerks Clara eine Ausnahme im Schwarzwald oder gibt es noch mehr Lagerstätten dieser Größe? Aus strukturgeologischer Sicht ist eine Situation wie bei den Clara-Gängen auch an anderen Stellen im Zentralschwarzwald anzutreffen. So weist z. B. die **Grube Segen Gottes** bei Haslach i. K., Ortsteil Schnellingen, schon knapp unter der Oberfläche mehrere Meter mächtige, NW–SE verlaufende Fluss- und Schwerspatgänge auf, die gleichermaßen auf ein Blattverschiebungssystem im Nahbereich einer E–W gerichteten, großen Scherstruktur (Kinzigtal-Störung) zurückgehen. Wie bei den meisten Spatgängen des Schwarzwalds handelt es sich um mehrere subparallele Gänge aus grobkristallinem, farblosem bis schwach violettem Fluorit und weißem Baryt; Zink- und Bleierze sind partienweise reichlich vertreten (Abb. 23). Der Untersuchung zugänglich wurden die Gänge übrigens durch die Freilegung einer historischen Erzgrube und ihrer Herrichtung zu einem Besucherbergwerk – wie auch an vielen anderen Orten im Schwarzwald (Werner 2004, Werner & Dennert 2004).

Im Mittleren Schwarzwald ging im 19. und 20. Jahrhundert auch auf anderen Gruben, in denen zuvor Erze gesucht worden waren, Spatbergbau um (Bliedtner & Martin 1986). In der Grube Friedrich-Christian-Herrensegen bei Wildschapbach erfolgte bis 1953 Bergbau auf Silber, Kupfer und Blei, danach begann man mit dem Abbau von Flussspat, der aber schon 1955 aus finanziellen Gründen beendet werden musste. Die Flussspatgrube Hesselbach bei Ödsbach, ENE von Offenburg, wurde in den 1950er und 60er Jahren betrieben. Auch die Flussspatgrube Reinerzau, begonnen 1941, wurde 1964 schon stillgelegt. Wie bei den vielen anderen Gruben im Mittleren Schwarzwald (vgl. Bliedtner & Martin 1986, Steen 2004) waren kleine, kapitalschwache Unternehmen meist mit veralteter Technik tätig, für die ein Vordringen unter den Grundwasserspiegel ein Wagnis war. Geringe Schwankungen im Marktpreis oder bei den Materialkosten reichten zumeist aus, um das Unternehmen zu beenden. Geologische Erkundung wurde praktisch nirgends betrieben und das Wissen um die Lagerstätten aus den Untertageaufschlüssen ging mit der Grubenschließung rasch verloren.

Zu den wirtschaftlich möglicherweise besonders interessanten Gangrevieren am westlichen Schwarzwaldrand gehört das im Suggental und im benachbarten Glottertal. Nach Aufschlüssen und zahlreichen historischen Angaben sind dort unter dem Grundwasserspiegel mächtige Gänge von überwiegend weißem, z. T. erzführenden Baryt zu erwarten (Werner 2012).

Fluss- und Schwerspatbergbau ging außerdem im **Südschwarzwald** um, insbesondere auf der bei Urberg südlich von St. Blasien gelegenen Grube Gottesehre (1955–1989), den Gruben Anton und Tannenboden, Werner IV und Finstergrund bei Wieden (1924–1974) sowie der Grube Teufelsgrund im Münstertal (1942–1958). Die Datenkompilation über die Gänge bei Wieden und Todtnau zeigt, dass in diesem Gebiet zahlreiche Spatgänge mit wirtschaftlichem Potenzial zu erwarten sind (Werner 2011); nördlich der bedeutenden Krustensutur der Badenweiler-Lenzkirch-Zone ist im Übergangsbereich zwischen Graniten und Gneisen ein ganzer Gangschwarm mit Fluss- und Schwerspat entstanden (Abb. 27). Doch auch hier drang der Bergbau nur punktuell unter den Grundwasserspiegel vor. Außerdem wurde bei Aitern, Grafenhausen bei Neustadt, Igelschlatt und Brenden (beide Kreis Waldshut-Tiengen) sowie in Brandenberg (Kreis Lörrach) Spatbergbau betrieben. Auf der o. g. Grube Gottesehre wurde noch kurz vor Schließung ein neuer Gang mit interessanten Gehalten und Mächtigkeiten nachgewiesen (Mitt. A. Renk, ehemals Bayer AG), doch die Betreiberfirma Pforzheimer Fluss- und Schwerspatwerke GmbH konzentrierte in dieser Zeit ihre gesamte Kapazität auf die Grube Käfersteige (vgl. erster Absatz dieses Abschnitts).

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Spaterkundung bei Freudenstadt

Wegen der überwiegend schlechten Datenlage über die Schwarzwälder Erz- und Mineralgänge hinsichtlich ihres Potenzials unterhalb der historischen Abbauniveaus und im Umfeld der alten Gruben ist es für den Landesdienst erforderlich, sich durch Kartierung und eigene Erkundung Informationen zum Lagerstättenpotenzial zu verschaffen. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Geldmittel kann dies jedoch nur in kleinen Schritten erfolgen. Im Zuge der Aufnahmen zur KMR 50 Blatt Freudenstadt bot es sich an, einen Test „im Vorfeld der Industrie“ durchzuführen.

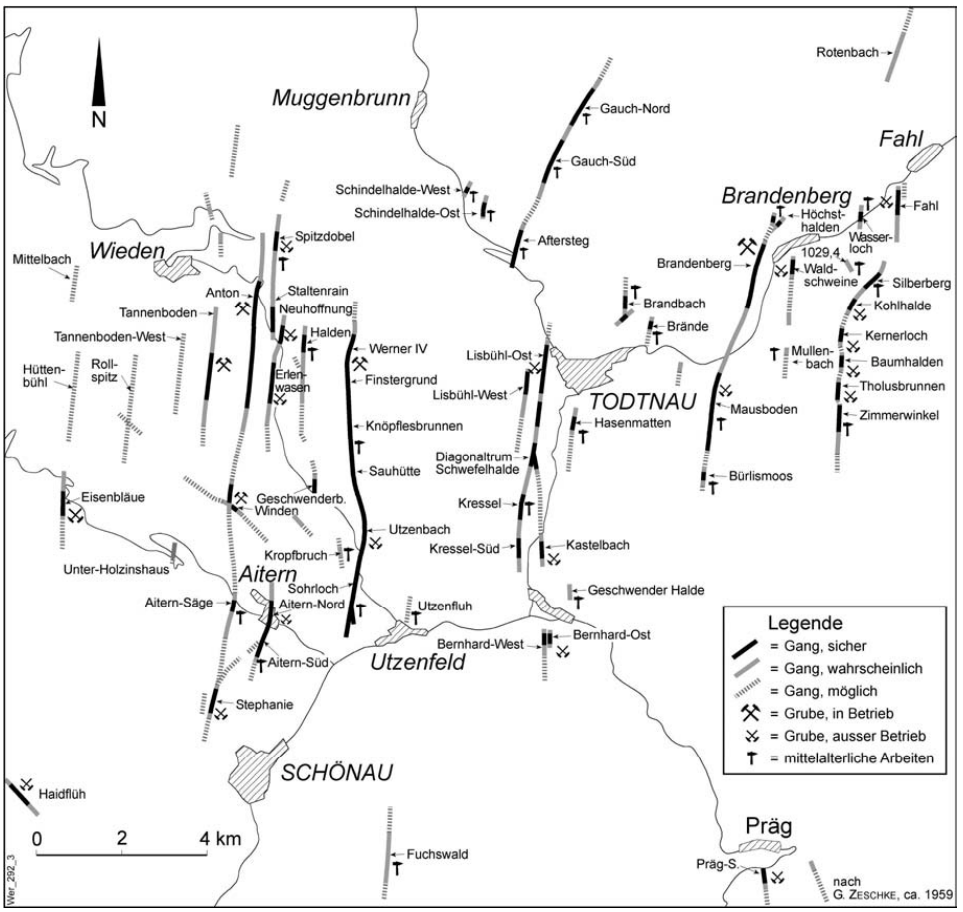

Abb. 27: Im Revier Wieden – Todtnau – Brandenberg treten auf einem ca. 10 km breiten Streifen dicht geschart etwa N–S verlaufende Schwer- und Flussspatgänge auf; Darstellung der übertägigen Gangverläufe nach Kartier- und Erkundungsarbeiten der Gewerkschaft Finstergrund aus dem 1950er Jahren (nach Firmengutachten von G. ZESCHKE, 1959).

Fig. 27: *Numerous, north–south oriented lode deposits of barite and fluorite occur in a 10 km wide section of the mining district Wieden – Todtnau – Brandenberg. Map constructed using mapping and drilling results of the former company Gewerkschaft Finstergrund (after report by G. ZESCHKE, 1959).*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Der Geologische Landesdienst begann schon in den 1950er Jahren mit bohrtechnischen Untersuchungen zur lagerstättengeologischen Erforschung der hydrothermalen Gänge im Schwarzwald. Mit gemeinsamen Mitteln des Bundes und des Landes wurden z. B. im Rahmen des Programms „Forschung und Entwicklung zur Sicherung der Rohstoffversorgung“ („Bundesbohrprogramm“ 1979–1983) Kernbohrungen im Schwarzwald, vor allem bei Pforzheim, Oberwolfach, Münstertal, Fahl bei Todtnau und Waldshut durchgeführt. Mehrere Bohrungen führten zum Nachweis wirtschaftlich interessanter Fluss- und Schwerspatvorkommen und lösten umfangreiche weiterführende Untersuchungen von Bergbaufirmen aus. Hier sind besonders die Schwerspat-Flussspat-Grube Clara bei Oberwolfach und die Grube Käfersteige bei Pforzheim zu nennen.

Das Freudenstädter Gangrevier erstreckt sich über eine Fläche von 9,5 x 22 km und beinhaltet mindestens 29 Gangstrukturen mit Schwer- und Flussspat, die im Bereich des Freudenstädter Grabens überwiegend in NW–SE-Richtung streichen. Sie sind während des Tertiärs – vermutlich vor ca. 20–30 Mio. Jahren – gegen Ende der Grabentektonik entstanden. Die Karte der Abb. 28 zeigt die Gangstrukturen am SW-Rand des Freudenstädter Grabens. Seit einer ersten Forschungsbohrung des damaligen Geologischen Landesamts im Jahr 1969 weiß man, dass die durch den alten Bergbau erschlossenen, im Buntsandstein aufsetzenden Gänge mindestens 300 m tief bis in den Triberger Granit hinabreichen (Abb. 30).

Im Raum Freudenstadt ist besonders das Schwerspatpotenzial im Vergleich mit anderen Gangrevieren Deutschlands als erheblich einzustufen, wie Erkundungsarbeiten der Fa. Sachtleben in den 1970er und 80er Jahren zeigten (Mitt. K. H. Huck). Der Bergbau auf Silber-, Kupfer- und Eisenerze im Gebiet Freudenstadt–Hallwangen–Baiersbronn geht mindestens in das 13. Jahrhundert zurück. Um 1830 erlangte hier erstmals das Mineral Schwerspat wirtschaftliche Bedeutung; Abbau erfolgte in der Grube Himmlisch Heer bei Hallwangen von 1908 bis 1912 (Werner & Dennert 2004, Kesten & Werner 2006). Warum der Abbau beendet wurde, ist unbekannt – vielleicht waren es ein stark angestiegener Quarzgehalt im Barytgang, ein Auskeilen des Ganges oder einfach nur Wasserhaltungsprobleme.

Trotz der schlechten Aufschlussverhältnisse – das Gestein wird flächenhaft von 2–3 m mächtigen Deckschichten (v. a. lehmiger Blockschutt) verhüllt – war es durch Halden- und Lesesteinkartierung sowie durch Aufnahme von unter Tage aufgeschlossenen Gangabschnitten (Altbergbau) möglich, den Verlauf der Mineralgänge einzuengen und ein strukturgeologisches Modell zu entwickeln. Kurzzeitige Aufschlüsse wurden durch Wegebauarbeiten geschaffen. Die Gangkartierung, die im Zuge der Erstellung der KMR 50 Freudenstadt durchgeführt wurde, und die oberflächennahen Prospektionsarbeiten der Fa. Sachtleben in den Jahren 1989–1996 zeigten, dass die Gangstruktur Friedrichszeche–Dorothea–Kehrsteige (Karte der Abb. 28) in ihrem Verlauf am besten eingeengt werden kann. Auf dieser Struktur befindet sich das Untersuchungsbergwerk Dorothea der Sachtleben Bergbau GmbH und das Besucherbergwerk Freudenstadt. Im Untersuchungsbergwerk ist der Gang 1,5–5 m mächtig angetroffen worden (vgl. Kesten & Werner 2006).

Im Besucherbergwerk Freudenstadt, am Nordostrand des städtischen Steinbruchs am Kienberg gelegen, ist ein nahe der Hauptgrabenstörung im verkieselten Buntsandstein aufsetzender Schwerspatgang durch einen 70 m tiefen Tagschacht und vier Sohlen erschlossen (Abb. 29). Wahrscheinlich handelt es sich um ein aus dem 18. Jh. stammendes Bergwerk, das der Erkundung auf Brauneisenerzen diente (Werner & Dennert 2004). Diese früher als „Silberbergwerk Friedrichs-Fundgrube“ bezeichnete Anlage wurde durch ein im 2. Weltkrieg angelegtes Bunkersystem angeschnitten. Der aufgeschlossene Schwerspatgang enthält viele Brauneisenerze, meist in Form von Braunem Glaskopf. Seine wichtigsten strukturellen Merkmale sind:

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

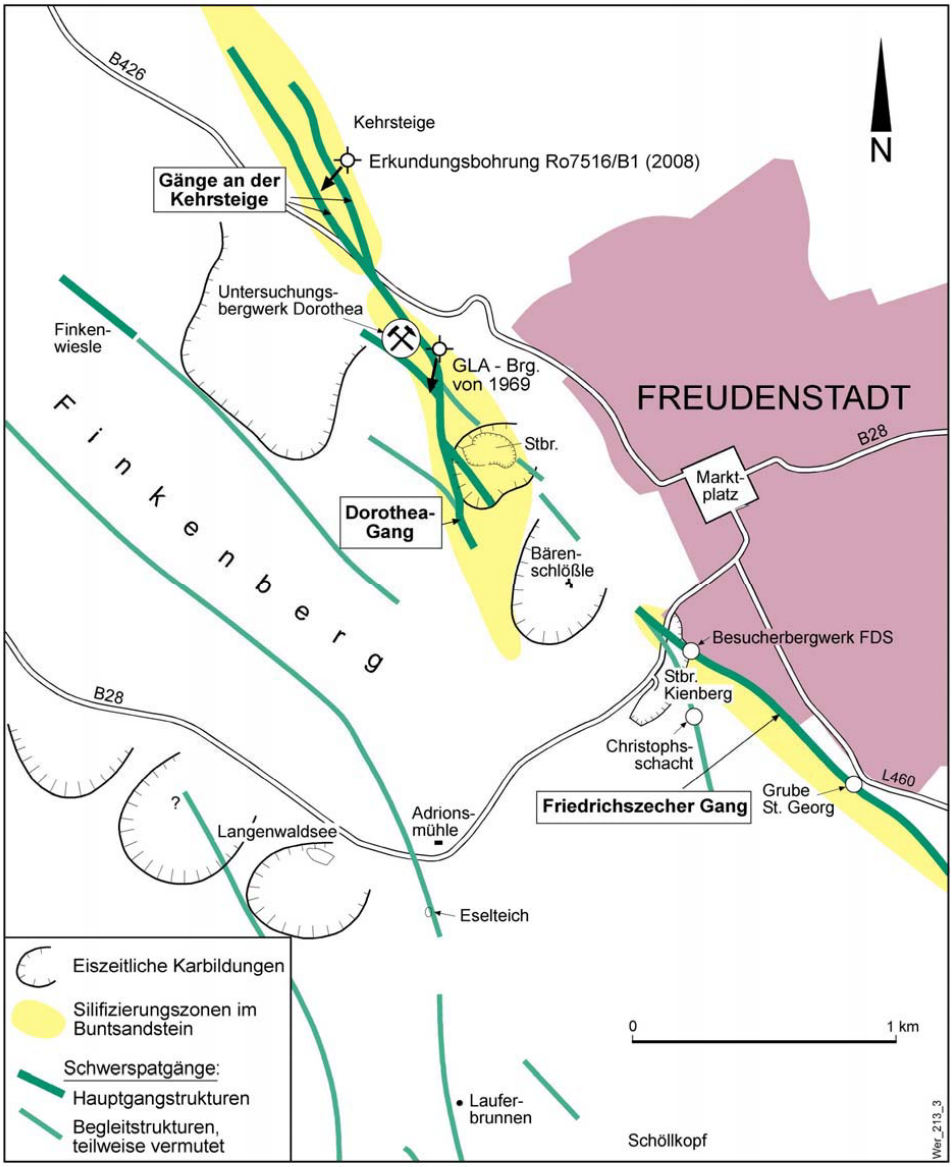

Abb. 28: Übersichtskarte für das Gebiet südwestlich von Freudenstadt mit den wichtigsten schwerspatmineralisierten Störungen. Wie die Erkundung durch die LGRB-Bohrung zeigte, werden sie zur Tiefe flussspatreich. Der Buntsandstein entlang der Randstörung des Freudenstädter Grabens ist präbarytisch intensiv verkieselt. Lage der Erkundungsbohrungen des GLA bzw. LGRB.

Fig. 28: *General structural map of the area SW of Freudenstadt illustrating the main barite-mineralized faults. Along the main fault zone, the Bunter beds are intensively silicified. Drilling proved that the barite veins contain increasing amounts of fluorite with increasing depth.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

- Er streicht NW–SE (105°–115°) und fällt mit durchschnittlich 80° nach NE, also zum Freudenstädter Graben hin ein.
- Seine Mächtigkeit schwankt im Bergwerk zwischen wenigen cm und etwa 1 m.
- Der Gang wird von mehreren gangparallelen Schwerspattrümchen begleitet, die mit 75–90° nach NE oder SW einfallen.
- Fiedergänge laufen vom Hauptgang in nördliche Richtung ab (33–40°/80–90°) und zeigen damit synmineralische dextrale Blattverschiebungen an.
- Eine postbarytische Abschiebungstektonik führte zur Zerlegung des Ganges in Linsen und begünstigte die Brauneisenmineralisation aus Siderit (unter der Oxidationszone z. B. in der Forschungsbohrung nachgewiesen).
- Nach den vorhandenen Aufschlüssen ist die gesamte schwerspatmineralisierte Gangzone mindestens 80 m breit.

Forschungs- und Erkundungsbohrung Freudenstadt, Gewann Hüttenteich:
Vor allem zur Erkundung des weiteren Verlaufs der Mineralgänge und der Spatqualität unterhalb des Grundwasserspiegels wurde vom LGRB nordwestlich von Freudenstadt eine Schrägbohrung auf die Grabenrandstörungszone angesetzt (Abb. 31). Die Schrägbohrung (Bez. Ro7516/B1, Richtung 234°, Neigung 50°) wurde im Zeitraum 30. Juni bis 26. September 2008 durchgeführt. Als wichtigste Ergebnisse der 292 m langen Kernbohrung, die gemeinsam vom Land (LGRB) und der Fa. Sachtleben finanziert und von der Fa. H. Anger´s Söhne (Hess. Lichtenau) durchgeführt wurde, sind hervorzuheben:

- Der im Bohrgebiet 170 m mächtige Buntsandstein wird unterlagert vom Triberger Granit (Alter ca. 340 Millionen Jahre); die Sandsteine der Eck-Formation (ca. 250 Mio. J.) überlagern das granitische Grundgebirge über einer Erosionsdiskordanz (keine tektonische Grenze).
- Der Granit selbst ist schon vor der Trias mehrfach stark tektonisch beansprucht und hydrothermal alteriert worden. Es handelt sich um eine Randfazies des Triberger Granitplutons; schon 1 km weiter NW der Bohrung besteht das Grundgebirge aus Paragneisen (Grube Untere Sophia).
- Die Bohrung durchörterte eine rund 200 m breite Störungszone, die der südwestlichen Randstörungszone des Freudenstädter Grabens zuzuordnen ist.
- Diese Störungszone ist stark mineralisiert: Die ersten schmalen Schwerspatgängchen wurden bei Kernmeter 105, besonders aber im Abschnitt 127–133 m angetroffen; der erste mächtigere Gang wurde bei 168,6–169,2 m durchörtert, zwei weitere Gänge folgten bei 172,6–173,6 m und 176,3–178,1 m.
- Überraschend war, dass neben Schwerspat auch *reichlich Flussspat* vorhanden ist (Abb. 32); dieser ist offensichtlich in Oberflächennähe durch oxidierende Tageswässer aufgelöst worden, da er auf den Halden und Ganganschnitten nur in Spuren auftritt.
- Eine zweite mineralisierte Zone wurde im Abschnitt 247,4–257,5 m angetroffen
- Bei 272,5 m wurde eine Störung durchfahren, an der auch ein markanter Gesteinswechsel innerhalb des Granits feststellbar ist; wahrscheinlich handelt es sich um die Grabenrandstörung.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 29: Blick in den Schacht der ehem. Friedrichs-Fundgrube, heute Besucherbergwerk Freudenstadt, mit dem im Buntsandstein aufsetzenden, bis 1 m mächtigen Barytgang und randlicher, intensiver Brauneisenvererzung.

Fig. 29: *View of the shaft in the former Friedrichs-Fundgrube mine, today a visitors mine. An approx. 1 m wide barite vein with oxidic iron ores transects the Bunter beds.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

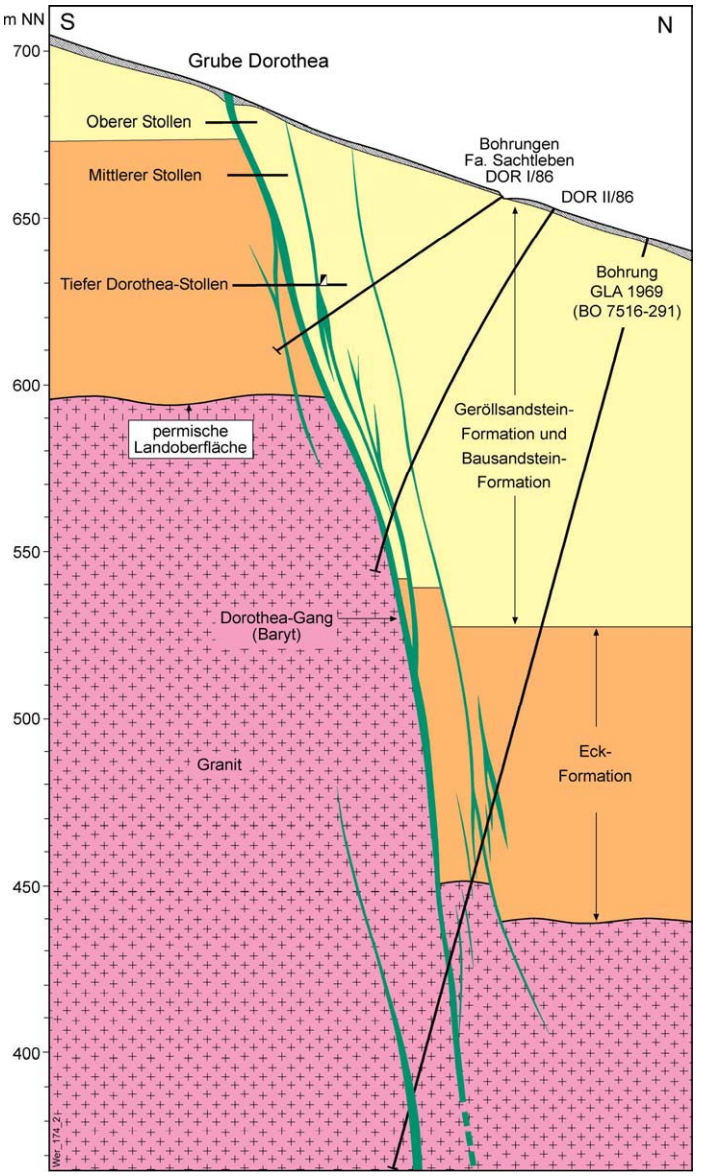

Abb. 30: Geologischer N–S-Schnitt durch die südwestliche Randstörung des Freudenstädter Grabens mit den Schwerspatgängen der Grube Dorothea auf Basis der Forschungsbohrung des Geologischen Landesamts (GLA) von 1969 und Bohrungen der Fa. Sachtleben von 1986 (nach einem Entwurf von K. H. HUCK, Sachtleben Bergbau GmbH, 1986).

Fig. 30: *Geological, N–S oriented section through the southwestern faults of the Freudenstadt graben with the barite veins of the Dorothea mine. The section is based on research drill holes of the Geological Survey (1969) and the Sachtleben mining company (1986) (after a draft by K. H. Huck, 1986).*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

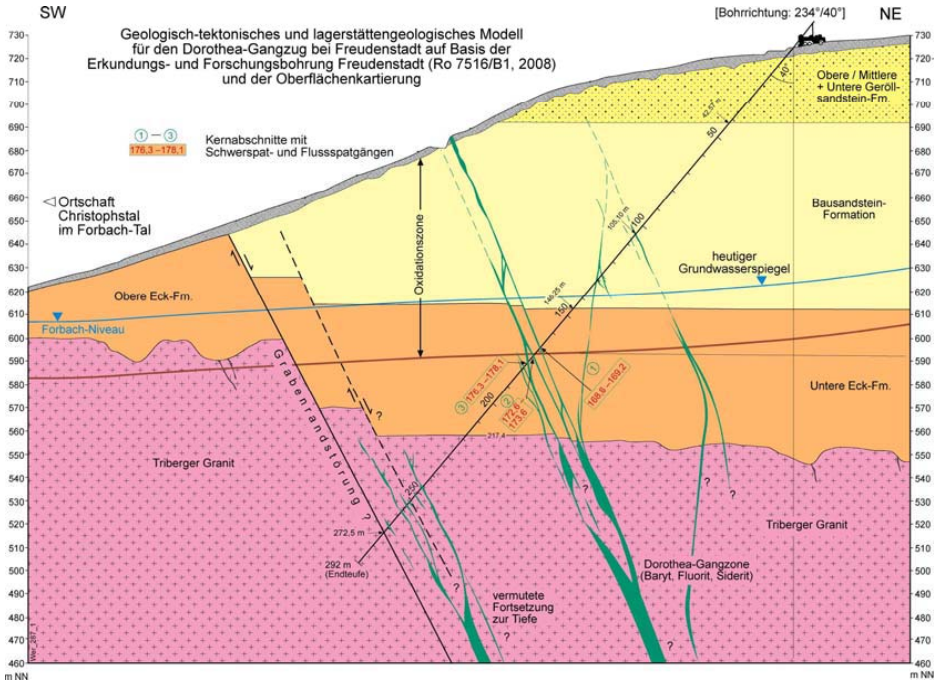

Abb. 31: Geologischer, NE–SW gerichteter Schnitt durch die südwestliche Randstörung des Freudenstädter Grabens im Bereich der Gänge an der Kehrsteige auf Basis der Kernbohrung Ro7516/B1 des LGRB von 2008 und der geologischen Kartierung. Im Vergleich mit Abb. 30 wird deutlich, dass die Sprunghöhe am Grabenrand nach NW rasch geringer wird, weiterhin aber zahlreiche Baryt-Fluorit-Gänge parallel zum Grabenrand verlaufen.

Fig. 31: *Geological, NE–SW oriented section through the southwestern faults of the Freudenstadt graben in the area of the Kehrsteige lodes. The section is based on the research drill hole Ro7516 B1 of the Geological Survey (2008) and geological mapping. The geological sections of fig. 30 and 31 indicate that the displacement along the graben-boundary faults decreases in NW-direction.*

- Vergleicht man das aus den Schrägbohrungen des GLA von 1969 und der Sachtleben von 1986 erstellte geologische Profil (Abb. 30) mit dem der Erkundungsbohrung von 2008 (Abb. 31), so wird deutlich, dass die Sprunghöhen am Grabenrand in nordwestliche Richtung rasch abnehmen. Dies deutet auf eine nach Südosten gekippte Grabenscholle. Tatsächlich lässt sich der Freudenstädter Graben bei der geologischen Kartierung (vgl. SCHMIDT & RAU 1904) schon bei Friedrichstal, also noch weiter in NW-Richtung, nicht mehr nachweisen.

Bearbeitung der Bohrkerne:
Zur Weiterentwicklung der Erkundungsmethoden wurden die Bohrkerne am LGRB und der Univ. Tübingen, Fachbereich Mineralogie & Geodynamik, einem umfangreichen Untersuchungsprogramm unterzogen: Strukturgeologie, Stratigraphie, Petrographie, Mineralogie, Geochemie. Ziel war es zu klären, ob durch eine genaue Analyse frischer Gesteinsproben die Nähe einer mineralisierten Störungszone erkannt werden kann. Dazu

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

war es erforderlich, die erdgeschichtlich erfolgten Stoffumlagerungen durch mineralisierte, aufsteigende heiße Wässer und durch junge Oberflächenwässer zu unterscheiden. Nachdem die konventionelle geochemische Analytik (42-Element-Analyse mittels XRF) am LGRB keine systematischen Stoffan- oder -abreicherungen mit Annäherung an die angetroffenen hydrothermal mineralisierten Spalten erkennen konnte, wurden die Alterationen im Porenraum des Nebengesteins mit einer Reihe von Analyseverfahren untersucht: Polarisations-, Auflicht-, Kathodolumineszenz- und Elektronenmikroskopie, Röntgendiffraktometrie, Elektronenstrahlmikrosonde und Mikrothermometrie an Flüssigkeitseinschlüssen. Die Studie erbrachte folgende Ergebnisse hinsichtlich des relativzeitlichen Ablaufs und der Temperaturen des Alterationsprozesses (DEMEL 2012):

1. Phase (Jura/Kreide?): Zuerst erfolgte eine Illitisierung der Feldspäte und Glimmer bei Temperaturen von 250–290 °C.

2. Phase (tertiäre Grabentektonik?): Danach kam es durch saure Lösungen zu einer Alteration entlang der Störungen mit Hämatitisierung und Quarzneubildung, Bleichung und Vergrünung der Gesteine des Grundgebirges. Beide Vorgänge führten zur Abdichtung des Porenraums um die Störungen. Die Quarzneubildung entlang der späteren Hauptgänge brachte aber auch mit sich, dass der Buntsandstein „verkieselte“ (Abb. 28) und damit spröder wurde; Spalten konnten bei weiterer tektonischer Beanspruchung leichter aufreißen.

3. Phase (Tertiär): In diese Spalten aufsteigende hydrothermale Lösungen (110–160 °C) führten zuerst zur Ausfällung von weiterem Quarz, dann von Karbonaten und Sulfiden sowie schließlich von Baryt und Fluorit (Abb. 32).

Es zeigte sich also, dass präbarytische Alterationslösungen das Nebengestein durch Quarz und Illit abgedichtet haben (Abb. 33), weshalb hydrothermal angelieferte Metalle nicht das Nebengestein infiltrieren konnten: „*Die ganginterne Quarz-Mineralisation und die Ausfüllung des Porenraums durch Illit und Quarz machen das Gestein nahezu impermeabel für Fluide. Baryt und Fluorit sind ausschließlich innerhalb der Gangmineralisation und in schmalen Adern, die vom Hauptgang abzweigen, konzentriert*“ (DEMEL 2012: 130). Dies begünstigt die Bildung wirtschaftlich interessanter Anreicherungen: Die hydrothermale Mineralisation wird nicht über den Porenraum des Nebengesteins verteilt, sondern wird weitgehend auf die Thermalspalte konzentriert. Ähnliche Beobachtungen machten MEYER et al. (2000) auf der Gangstruktur der Käfersteige bei Pforzheim (s. o.).

Ganz offensichtlich sind am westlichen Grabenrand die Gänge in wirtschaftlich interessanter Mächtigkeit so häufig, dass bereits mit einer weiteren Erkundungsbohrung drei Flussspat führende Gänge nachgewiesen werden konnten (Abb. 31). Als weiteres Fazit aus den Untersuchungen bei Freudenstadt kann festgestellt werden, dass eine Kombination aus Kartierarbeiten, strukturgeologischer Analyse und daraufhin angesetzten gekernten Schrägbohrungen am schnellsten zum Nachweis von Mineralgängen führen kann. Geochemische Untersuchungen im Nebengestein erwiesen sich als nicht zielführend.

Lagerstättengeologisch wichtigste Ergebnisse der Bohrung sind, dass der in Oberflächennähe Brauneisen führende Schwerspat etwa ab 30 m unterhalb des heutigen Grundwasserspiegels reinweiß ist und die Gänge reichlich Flussspat führen (Abb. 32). Der Explorationsstollen der Sachtleben Bergbau auf der Grube Dorothea reicht nicht bis unter den Grundwasserspiegel, so dass dort bislang nur überwiegend verbraunter Schwerspat und kein Flussspat angetroffen wurde. Daher wurden die Arbeiten dort eingestellt. Die Erkundung des LGRB könnte ein Anreiz sein, die für wenig aussichtsreich gehaltenen Explorationsarbeiten mit modifiziertem Verfahren wieder aufzunehmen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Abb. 32: Bohrkern aus der Erkundungsbohrung Ro7516/B1 des LGRB, Abschnitt 177,6–177,8 m. Knapp unterhalb der Oxidationszone, d. h. ca. 30 m unterhalb der mittleren Grundwasseroberfläche (vgl. Abb. 31), wird der Baryt der Gänge zunehmend reiner; außerdem tritt reichlich Fluorit auf (hellgrau bis bläulich).

Fig. 32: *Core from exploration drill hole Ro7516/B1 by the Geological Survey, section 177,6–177,8 m. Just below the oxidation zone, i. e. 30 m below groundwater level, barite becomes white, and the fluorite content increases.*

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

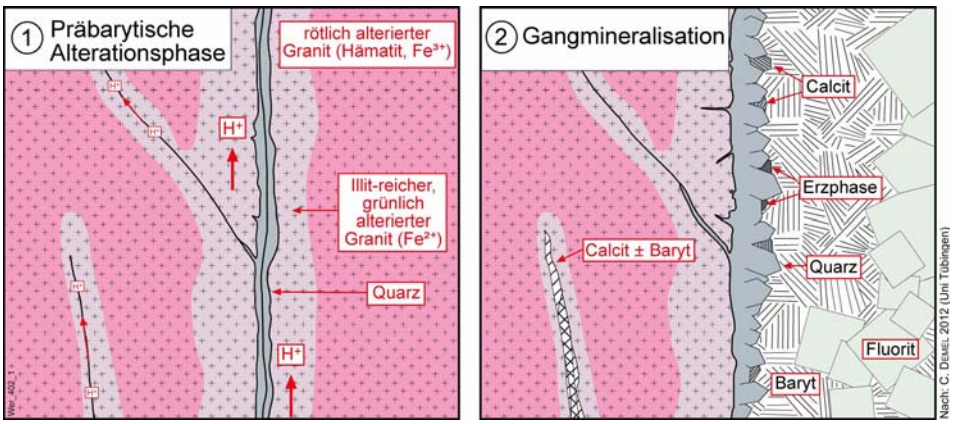

Abb. 33: Schematische Darstellung der störungsgebundenen Mineralisationsvorgänge im Gangrevier Freudenstadt ermittelt an der LGRB-Forschungsbohrung Ro7516/B1, Gewann Hüttenteich NW von Freudenstadt (nach: Demel 2012). Durch präbarytische Verquarzung und Illitbildung wurde der Porenraum der Nebengesteine so abgedichtet, dass die tertiärzeitliche hydrothermale Mineralfracht nur auf den tektonischen Störungen abgesetzt werden konnte.

Fig. 33: *Schematic illustration of the fault-bound mineralization in the mining district of Freudenstadt according to analysis of core samples from drill hole Ro7516/B1 northwest of Freudenstadt (after: Demel 2012). As a result of early silification and illitization, the interstitial volume of sandstones and altered granite was sealed. Therefore, hydrothermal mineralization took place along the tectonic faults and not in the pores and fissures of the wall rock.*

4. Schlussfolgerungen, Ausblick

Die Betrachtung der tiefliegenden Rohstoffe Baden-Württembergs zeigt, dass in unserem Land ganz verschiedene und oft ausgedehnte Vorkommen und Lagerstätten von Industriemineralen existieren. Mit Ausnahme der Kalisalzflöze im Oberrheingraben, die vor allem wegen der Tiefe der Lagerstätten und der geringen Standfestigkeit der Nebengesteine kaum mehr Ziel des Bergbaus werden dürften, kann man für die Vorkommen von Steinsalz, Gips und Anhydrit, hochreinen Kalksteinen sowie von Fluss- und Schwerspat eine lange Nutzung in weiteren und tieferen Bergwerken prognostizieren. Der Erkundungsbedarf ist allerdings immens. Von der Aussagesicherheit, wie wir sie für die ebenfalls vielfältigen und großen Steine- und Erden-Vorkommen des Landes vorweisen können, sind wir noch weit entfernt. Schon alleine wegen der Planungssicherheit von staatlicher wie von industrieller Seite wäre eine bessere Kenntnis von großer Bedeutung, zumal die Nutzung des tieferen Untergrundes weiter voranschreiten dürfte: Geothermie, Heil- und Mineralwassergewinnung, unterirdische Speicherung von Gasen usw.

Während bei den Steine- und Erden-Rohstoffen und wichtigen Industriemineralen ein sehr großes natürliches Angebot besteht, verfügt das Land nur über relativ wenige Metallerzvorkommen. Die Eisenerze des Braunjuras werden erst wieder interessant werden, wenn es durch Aufbereitung gelingt, die Anreicherung deutlich über die früher erreichten 37 % Fe zu bringen. Legierungs- und Edelmetalle wie Zink, Blei, Kupfer, Antimon und Silber sind wegen ihrer dispersen Verteilung nur wirtschaftlich zu gewinnen, wenn die Trägergesteine Schwerspat und Flussspat auch verwertet werden können.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Trotz ermutigender neuer Funde im Oberrheingraben wird Baden-Württemberg aller Voraussicht nach niemals ein bedeutendes Fördergebiet von Erdöl und Erdgas werden. Neue Erkundungs- und Fördermethoden, die auch die Nutzung kleiner und kompliziert gebauter Lagerstätten im Oberrheingraben und im Molassebecken erlauben, können aber zu einer kleinen Renaissance der Kohlenwasserstoffgewinnung führen.

Mit der Zeit wird es gelingen, die Abhängigkeit vom Erdöl und Erdgas zu reduzieren. Deutschland ist auf einem guten Weg. Metalle können weitgehend wieder verwertet werden und stehen dann ohne Qualitätsverlust (sogar mit erheblich geringerem Energieaufwand) wieder für industrielle Prozesse zur Verfügung. Steine- und Erden-Rohstoffe hingegen vertragen nur wenige Recyclingvorgänge. Da bei jeder Wiederaufbereitung der Baustoffe Korngröße und Festigkeit reduziert werden, spricht man auch von einem „Downcycling". Für die Erzeugung hochwertiger, belastbarer Baustoffe bleibt die Verwendung frischer Gesteinsrohstoffe unerlässlich.

Bei den Industriemineralen aber ist die Verwendung in der Regel nur einmal möglich: NaCl wird gelöst, Karbonate und Sulfate gebrannt, getempert und intensiv mit anderen Stoffen vermischt (mit denen sie eine chemische oder mineralische Bindung eingehen), Fluorit und Baryt werden gleichfalls in industriellen oder chemischen Prozessen in ihre Bestandteile zerlegt oder intensiv mit anderen Stoffen vermengt usw. Industrieminerale wie Steinsalz oder Kalk können für die meisten wichtigen Anwendungen nicht substituiert werden. Daher wird es auch weiter erforderlich sein, neue Industrieminerallagerstätten zu erschließen.

Das Land kann sich deshalb glücklich schätzen, über diese langfristig wichtigen mineralischen Rohstoffe in beachtlicher Menge zu verfügen. Der Beitrag zeigt, dass sich vor allem bei den Steinsalzlagern des Muschelkalks und den Spatgängen im Schwarzwald, und hier besonders im Pforzheim–Neuenbürger Revier, bei Freudenstadt, im Kinzigtal und im Raum Wieden-Todtnau, große Ressourcen andeuten.

Eine Herausforderung liegt im Konflikt mit den vielen anderen Nutzungen der Oberfläche und der darunter verborgenen Georessourcen. Wie ausgeführt, ist unser Wissensstand über die tiefliegenden Rohstoffe in der Fläche noch recht gering. Daher ist es geboten, mehr für die Untersuchung der „Schätze unter dem Boden" zu tun. Die Erkundung sollte zunächst dort beginnen, wo der größte Bedarf vorliegt und oberflächennahe Vorkommen nicht existieren: Steinsalz sowie Fluss- und Schwerspat.

Danksagung

Prof. WERNER KONOLD regte angesichts der aktuellen Diskussion über unsere Versorgungssicherheit mit mineralischen Rohstoffen den Übersichtsvortrag über unsere tiefliegenden Rohstoffe in Baden-Württemberg an; CHRISTOPHER DEMEL führte, unterstützt durch Prof. GREGOR MARKL (Fachbereich Mineralogie und Geodynamik der Univ. Tübingen), umfangreiche Untersuchungen am Bohrkernmaterial der Erkundungsbohrung Freudenstadt durch; Gesamtbetriebsleiter MICHAEL NELLES (Sachtleben Bergbau GmbH) stellte Risse der Lagerstätte Clara bei Oberwolfach zur Verfügung; VOLKER DENNERT (Laufen) ermöglichte Einblicke in das Archiv des Kali-Museums Buggingen; JÜRGEN CROCOLL (LGRB) fertigte in bewährter Weise die Graphiken zu diesem Beitrag, und die Mitarbeiter der LGRB-Referate Landesrohstoffgeologie und Landesbergdirektion halfen bei Datenrecherchen – Allen ein herzliches Dankeschön. Glückauf!

Eingang des Manuskripts: 03. September 2012

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Angeführte Schriften

Albiez, G. (1977): Kalisalzbergwerk Buggingen 1922–1973. – Das Markgräflerland, NF **8 (39)**, Heft 3 / 4: 219–262, zahlr. Abb und Tab.; Schopfheim.

Albiez, G. (1982): Eisenerzbergbau – ein wichtiger Wirtschaftszweig des Industriezeitalters.– In: Baden-Württemberg als Bergbauland – seine Bodenschätze und seine untertägigen Ingenieurbauten. – Internationale Industriebibliothek, **117-2**: 32–37, 1 Abb.; München.

Berwanger, S. (2006): Gips- und Anhydritbergbau in Obrigheim. – Tagungsband Kolloquium Rohstoffgewinnung in Baden-Württemberg, 20. Juli 2006, Ostfildern [Bohnenberger, G., Sprenger, H. & Buhrow, C., Hrsg.]: 93–104, 14 Abb.; Freiberg/ Sachsen.

BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2010): Bundesrepublik Deutschland – Rohstoffsituation 2009. – Rohstoffwirtschaftliche Länderstudien, XXXIX: 205 S., 43 Abb., 83 Tab.; Hannover.

Bliedtner, M. & Martin, M. (1986): Erz- und Minerallagerstätten des mittleren Schwarzwaldes. – 786 S., 264 Abb.; Freiburg i. Br. (Geol. Landesamt Bad.-Württ., Hrsg.).

Blomenkamp, H. J. (1982): Buggingen – das einzige Kalisalzbergwerk in Baden-Württemberg.– In: Baden-Württemberg als Bergbauland – seine Bodenschätze und seine untertägigen Ingenieurbauten. – Internationale Industriebibliothek, **117-2**: 40–42; München.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (2010): http://www.bmwi.de/ Dateien/BMWi/PDF/rohstoffstrategie-der-bundesregierung

Bock, H. & Kobler, H.-U. (2003), mit Beiträgen von Bock, W.-D., Patzelt, A., Reimann, M., Simon, T., Waldhör, M. & Werner, W.: Erläuterungen zu Blatt L 6924 Schwäbisch Hall. – Kt. mineral. Rohstoffe von Baden-Württ. 1 : 50 000: 181 S., 28 Abb., 6 Tab., Anhang, 1 Kt., Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.). – [KMR 50].

Bock, H. (2001), mit Beiträgen von Kimmig, B., Werner, W. & Szenkler, Ch.: Erläuterungen zu Blatt L7724 / L 7726 Ulm/Neu-Ulm (Anteil Baden-Württemberg). – Kt. mineral. Rohst. Baden-Württ. 1 : 50 000: 116 S., 2 Abb., 14 Tab., Anhang, 1 Kt.; Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.) – [KMR 50].

Bock, H., Aigner, T., Hoffeins, M., Kimmig, B., Koch-Czech, H. & Kraut, H.-G. (2011): Der Obere Weißjura im Gebiet Ulm – Blaustein – Blaubeuren – Schelklingen – Allmendingen: Fazies und rohstoffgeologie (Exkursion C am 28. April 2011). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F. **93**: 227–268, 13 Abb., 5 Tab., Stuttgart.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Börner, A., Bornhöft, E., Häfner, F., Hug-Diegel, N., Kleeberg, K., Mandl, J., Nestler, A., Poschlod, K., Röhling, S., Rosenberg, F., Schäfer, I., Stedingk, K., Thum, H., Werner, W. & Wetzel, E. (2012) unter Mitarbeit von Caspers, G., Hernandez Diaz, T., Granitzki, K., Karpe, P., Kästner, H., Katzschmann, L., Kimmig, B., Kuhn, G., Liedmann, W., Röhling, H.-G., Sänger-v. Oepen, P. & Schröder, N.: Steine- und Erden-Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland.– Geol. Jb., Sonderhefte, **SD 10**: 356 S., 212 Abb., 54 Tab., Anh.; – Hannover [Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Staatliche Geologische Dienste, Hrsg.].

Demel, C. (2012): Geochemische und petrographische Untersuchungen an der Forschungsbohrung Ro7516/B1 bei Freudenstadt, Nordschwarzwald, zur Quantifizierung der Gesteinsalteration durch hydrothermale Prozesse. – Dipl.-Arbeit Univ. (unveröff.), 180 S., zahlr. Abb. und Tab; Univ. Tübingen.

Dennert, V. (1991): Das ehemalige Kalisalzbergwerk Buggingen. – Südwestsalz, Bd. **1991**: 2–6, 8 Abb.; Heilbronn (Südwestdt. Salzwerke AG, Hrsg.).

Esslinger, G. (1976): Vorkommen und Tektonik des Basalte im Kalisalzlager Buggingen (Südbaden). – Jh. geol. Landesamt Baden-Württ., **18**: 7–18, 3 Abb., 1 TF:, Freiburg i. Br.

EU-Kommission (2011): http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/communication_de.pdf

Fischbeck, R., Werner, W. & Bornemann, O. (2003): Die Zusammensetzung der Salzgesteine des Muschelkalks in Südwestdeutschland. – In: Das Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Südwestdeutschlands.– museo, **20**: 76–93, 9 Abb., 6 Tab; Heilbronn [Städt. Museen Heilbronn, Hrsg.].

Frank, M., Groschopf, P., Gudden, H., Halbach, P., Hegenberger, W., Sauer, K., Simon, P., Wild, H. & Ziegler, J.H. (1975): Sedimentäre Eisenerze in Süddeutschland. – Geol. Jb., **D 10**: 3–280, 70 Abb., 27 Tab., 7 Taf.; Hannover.

Frank, M., Groschopf, P. & Wild, H. (1975): Die Eisenerze des Aalenium in der östlichen Schwäbischen Alb (Geislingen an der Steige, Aalen und Wasseralfingen). – Geol. Jb., **D 10**: 69–103, 8 Abb., 1 Taf., 6 Tab.; Stuttgart.

Geiger, O. (2009): Kalibergbau in Buggingen. – Tagungsband 12. Inter. Montanhistorikworkshop 9.09.–12.09.2009 Glottertal: 93–98, 6 Abb.; Freiburg i. Br. (Montanhistorik Süd-West e. V., Hrsg.).

Germann, A., Lang, R., Werner, W. & Friedrich, G. (1994): Zur Mineralogie und Geochemie der Erzgänge im Bergrevier Freiamt–Sexau im Mittleren Schwarzwald. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württ, **14**: 119–154, 22 Abb., 6 Tab.; Freiburg i. Br.

Giese, S. & Werner, W., mit einem Beitrag von Schauer, M. (1997): Zum strukturellen und lithologischen Bau des Oberjuras der Mittleren Schwäbischen Alb. – Jh. geol. Landesamt, **37**: 49–76, 6 Abb., 4 Tab.; Freiburg i. Br.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

GLA – Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1995): Geologische Untersuchung der Steinsalzlagerstätte Heilbronn. – 81 S., 31 Abb., 5 Anh., 23 Anl.; Freiburg i. Br. [Unveröff. Gutachten. Bearbeiter: Werner, W., Simon, T., Jonischkeit, A., Brunner, H. & Rogowski, E].

Groschopf, R., Kessler, G., Leiber, J., Maus, H., Ohmert, W., Schreiner, A., Wimmenauer, W., mit Beiträgen von Albiez, G., Hüttner, R. & Wendt, O. (1996): Geol. Karte Baden.-Würt 1 : 50 000. Erläuterungen zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung, 3., ergänzte Aufl. – 364 S., 27 Abb., 7 Tab., 7 Taf., 1 Beil.; Freiburg i. Br.

Hansch, W. & Simon, T. (Hrsg.) (2003): Das Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Südwestdeutschlands.– museo, **20**: 240 S.; Heilbronn [Städt. Museen Heilbronn].

Heinz, J. (2002), mit Beiträgen von Babies, H. G., Kimmig, B., Kostic, B., Schuh, M. & Werner, W.: Erläuterungen zu Blatt L 8122 Weingarten. – Kt. mineral. Rohst. Baden-Württ. 1 : 50 000: 99 S., 18 Abb., 8 Tab., Anhang, 1 Kt.; Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.) – [KMR 50].

Heinz, J., Szenkler, Ch. & Werner, W. (2002), mit Beiträgen von Babies, H. G. & Bock, W. D.: Erläuterungen zu Blatt L 8124 / L 8126 Bad Waldsee / Memmingen (Anteil Baden-Württemberg). – Kt. mineral. Rohst. Baden-Württ. 1 : 50 000: 147 S., 9 Abb., 6 Tab., Anhang, 1 Kt.; Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.) – [KMR 50].

Hösel, G., Tischendorf, G. & Wasternack, J. et al. (1997): Bergbau in Sachsen, **Bd. 3**: Erläuterungen zur Karte Mineralische Rohstoffe: Erzgebirge - Vogtland/Krušné hory l : 100 000, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt. – 144 S., 54 Abb., 8 Tab.; Freiberg/Sachsen.

Huck, K.-H. (1986): Clara am Schwarzenbruch. – In: Bliedtner & Martin (1986): Erz- und Minerallagerstätten des Mittleren Schwarzwaldes: 366–399, 12 Abb.; Freiburg i. Br. (Geologisches Landesamt, Hrsg.).

Kesten, D. & Werner, W. (2006) mit Beiträgen von Kilger, B.-M. & Selg, M.: Erläuterungen zu den Blättern L 7516 Freudenstadt und L 7518 Rottenburg a. N. – Kt. mineral. Rohstoffe Baden-Württ. 1 : 50 000: 260 S., 33 Abb., 6 Tab., 2 Kt., 2 CD-ROMs; Freiburg i. Br. (RP Freiburg – L.-Amt Geol. Rohst. Bergbau Baden-Württ., Hrsg.) – [KMR 50].

Kimmig, B. & Kesten, D. (2010), mit einem Beitrag von Werner, W.: Erläuterungen zu den Blättern L 7114 Rastatt und L 7518 Karlsruhe-Süd. – Kt. mineral. Rohstoffe Baden-Württ. 1 : 50 000, 237 S., 30 Abb., 9 Tab., 3 Kt., 2 CD-ROMs; Freiburg i. Br. (Landesamt f. Geol., Rohst. u. Bergbau, Hrsg.).

Kimmig, B., Werner, W. & Aigner, T. (2001): Hochreine Kalksteine im Oberjura der Schwäbischen Alb – Zusammensetzung, Verbreitung, Einsatzmöglichkeiten. – Z. angew. Geol. **47**: 101–108, 6 Abb., 1 Tab.; Hannover.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Kirchheimer, F. (1957): Bericht über das Vorkommen von Uran in Baden-Württemberg. – Abh. Geol. Landesamt Baden-Württemberg, **2**: 1–127,12 Abb., 6 Taf., 1 Beil.; Freiburg i. Br.

Kirchheimer, F. (1982): Uranvorkommen in Baden-Württemberg. – In: Baden-Württemberg als Bergbauland – seine Bodenschätze und seine untertägigen Ingenieurbauten. – Internationale Industriebibliothek, **Bd. 117-2**: 64–66; München.

Lang, I. (1903): Beiträge zur Kenntnis der Erzlagerstätte am Schauinsland. – Mitt. Großh. Bad. Geol. Landesanstalt, **IV**: 485–524, 7 Abb.; Heidelberg.

LBEG – Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (2011): Erdöl und Erdgas in der Bundesrepublik Deutschland 2011. – 62 S., 5 Abb., 24 Tab., 15 Anl.; Hannover.

LGRB – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (2009): Die Verbreitung der steinsalzführenden Schichten in Baden-Württemberg – eine Aktualisierung des Wissenstandes. – LGRB-Nachricht **8/2009**, http://www.lgrb.uni-freiburg.de; Freiburg i. Br. – [Bearbeiter: Bock, H., Werner, W. & Simon, T.].

Markl, G. (2005): Bergbau und Mineralienhandel im fürstenbergischen Kinzigtal. – Schriftenrreihe Mineralienmuseum Oberwolfach, **Bd. II**: 392 S., 150 Abb., zahlr. Tab; Filderstadt (Markstein).

Markl, G. & Wolfsried, S. (2011): Das Uran von Menzenschwand. Geschichte, Lagerstätte, Mineralien. – 143 S., zahlr. Abb. und Tab.; München (C. Weise).

Maus, B. (2000), mit Beiträgen von Werner, W., Kimmig, B., Wagenplast, P., Franz, M. & Bock, H.: Erläuterungen zu Blatt L7524 Blaubeuren. – Kt. mineral. Rohst. Baden-Württ. 1 : 50 000: 101 S., 5 Abb., 14 Tab., Anhang, 1 Kt.; Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.) – [KMR 50].

Metz, R. (1980): Geologische Landeskunde des Hotzenwalds. – 1116 S., 574 Abb., 4 Kt.; Lahr (Schauenburg).

Meyer, M., Brockamp, O., Zuther, M., Clauer, N. & Renk, A. (2000): Further evidence for a Jurassic mineralizing event in central Europe: K-Ar dating of hydrothermal alteration and fluid inclusion systematics in wall rocks of the Käfersteige fluorite vein deposit in the Northern Black Forest, Germany. – Miner. Deposita, **35**: 754–761, 6 Abb., 4 Tab.; Heidelberg.

Möller, P., Maus, H. & Gundlach, H. (1982): Die Entwicklung von Flußspatmineralisationen im Bereich des Schwarzwaldes. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, **24**: 35–70, 12 Abb., 3 Tab.; Freiburg i. Br.

Nelles, M. (2006): Untertägige Schwer- und Flussspatgewinnung im Schwarzwald, Grube Wolfach. – Tagungsband Kolloquium Rohstoffgewinnung in Baden-Württemberg, 20. Juli 2006, Ostfildern [Bohnenberger, G., Sprenger, H. & Buhrow, C., Hrsg.]: 81–191, 3 Abb.; Freiberg/Sachsen.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Oldroyd, D. R. (2007): Die Biographie der Erde. Zur Wissenschaftsgeschichte der Geologie. – 519 S., zahlr. Abb.; Frankfurt a. M. (Zweitausendeins).

Poser, C. & Kleinschnitz, M. (2011), unter Mitarbeit von Bauer, M. & Werner, W.: Erläuterungen zu den Blättern L 7512 Offenburg/L 7514 Oberkirch (Westteil) und L 7712 Lahr im Schwarzwald. – Kt. mineral. Rohst. Baden-Württ. 1 : 50 000: 362 S., 55 Abb., 15 Tab., Anhang, 3 Kt.; Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb., Hrsg.) – [KMR 50].

Rogowski & Simon, T. (2005): Salzerkundungsbohrung Stetten (Zollernalbkreis, Baden-Württemberg). – LGRB-Informationen, **17**: 136–150, 3 Abb.; Freiburg i. Br.

Schmidt, M. & Rau, K. (1904): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1 : 25 000, Blatt 7516 Freudenstadt (Neuauflage 1977); Stuttgart/Freiburg i. Br.

Schneiderhöhn, H. (1929): Die Erzlagerstätten am Schauinsland im südwestlichen Schwarzwald. – Metall und Erz, **7**: 1–6, 3 Abb.; Halle.

Simon, T. (1995): Salz und Salzgewinnung im nördlichen Württemberg – Geologie, Technik, Geschichte. – Forsch. Württ. Franken, **42**: 441 S., 303 Abb., 32 Tab.; Sigmaringen (Thorbecke).

Simon, T. (2003): Historische Salzgewinnung in Baden-Württemberg. – In Hansch, W. & Simon, T. (Hrsg.): Das Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Südwestdeutschlands. – museo, **20**: 28–45, 13 Abb.; Heilbronn.

Steen, H. (2004): Geschichte des modernen Bergbaus im Schwarzwald. – 485 S., zahlr. Abb.; Norderstedt (Books on Demand).

Stangl, F. & Kirchhelle, H. W. (o. J.): Diversifikation in den Steine- und Erdenbergbau. – AMS Online: http://www.advanced-mining.com/artikel.php?id=29

Walther, H. W. (1986) mit Beiträgen von Emmermann, K. H., Fenchel, W., Fuchs, W. et al.: Federal Republic of Germany. – In: Dunning, F. W. & Evans, A. M. (Hrsg.): Mineral Deposits of Europe. Bd. 3. Central Europe: 175–301, 66 Abb., 42 Tab.; London (Inst. Mining Metallurgy & Mineral. Soc.).

Watzel, R. (2012): Heimische Rohstoffe in einer globalisierten Welt – Welche Rolle hat das Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau? – Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., 102: 21-36.

Werner, W. (2004): Der historische Bergbau im Kinzigtal (Schwarzwald) unter besonderer Berücksichtigung der Grube „Segen Gottes“ bei Haslach-Schnellingen – Z. Gesch. Berg- u. Hüttenwesen, **1/2004**: 7–24, 5 Abb.; Idar-Oberstein.

Werner, W. (2006): Erzprospektion im Revier Wittichen in der Zeit zwischen 1935 und 1979 – Ergebnisse und lagerstättengeologische Schlussfolgerungen. – Erzgräber, **2/2006**: 3–66, 38 Abb., 2 Tab.; Oberwolfach.

© Naturforschende Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau c/o Institut für Geo- und Umweltnaturwissenschaften; download www.zobodat.at

Werner, W. (2011): Mineralische Rohstoffe. – In: Hann, P. & Zedler, H.: Erläuterungen zum Blatt 8113 Todtnau: 98–115, 3 Abb.; Freiburg i. Br. (LGRB, Hrsg.).

Werner, W. (2012): Geologie, Lagerstätten und Bergbau im Glottertal und seiner Umgebung. – In: Bergbau im Glottertal. Beiträge zur 900-Jahr-Feier der Gemeinde Glottertal (AK Glottertäler Ortsgeschichte, Hrsg.), 103–202, 40 Abb.; Freiburg i. Br. (fgb freiburger graphische Betriebe).

Werner, W., Bohnenberger, G. & Höllerbauer, A. (2003): Verwendung und wirtschaftliche Bedeutung des Steinsalzes aus dem Muschelkalk Südwestdeutschlands. – In: Das Steinsalz aus dem Mittleren Muschelkalk Südwestdeutschlands.– museo, **20**: 206–220, 9 Abb.; Heilbronn [Städt. Museen Heilbronn, Hrsg.].

Werner, W. & Dennert, V. (2004) mit Beiträgen v. Meyerdirks U. & Tegel, W.: Lagerstätten und Bergbau im Schwarzwald. Ein Führer unter besonderer Berücksichtigung der für die Öffentlichkeit zugänglichen Bergwerke. – 334 S., 271 Abb.; Freiburg i. Br. (Landesamt f. Geol. Rohst. Bergb. Baden-Württ.).

Werner, W., Franzke, H. J., Wirsing, G., Jochum, J., Lüders, V. & Wittenbrink, J. (2002): Die Erzlagerstätte Schauinsland bei Freiburg im Breisgau – Bergbau, Geologie, Hydrogeologie, Mineralogie, Geochemie, Tektonik und Lagerstättenentstehung. – Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. Br., **92**/1: 110 S., 26 Abb., 10 Tab., 16 Taf.; Freiburg i. Br.

Werner, W. & Kimmig, B. (2004) mit einem Beitrag von Kosinowski, M.: Erläuterungen zu Blatt L 7922 Bad Saulgau. – Kt. mineral. Rohst. Baden-Württ. 1 : 50 000: 190 S., 23 Abb., 11 Tab., Anhang, 1 Kt.; Freiburg i. Br. (L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.) – [KMR 50].

Werner, W., Kimmig, B., Liedtke, M., Kesten, D. & Kleinschnitz, M. (2006): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2006. – LGRB-Informationen, **18**: 202 S., 21 Abb., 15 Tab., 1 Kt.; Freiburg i. Br. – [Landesamt f. Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Hrsg.].

Werner, W., Kimmig, B., Tschernay, P., Wittenbrink, J., Bock, H. & Kleinschnitz, M. (in Druckvorb.): Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012. – LGRB-Informationen, **27**; Freiburg i. Br. – [Landesamt f. Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Hrsg.].

Wild, H. (1968): Das Steinsalzlager des Mittleren Muschelkalks, seine Entstehung, Lagerung und Ausbildung nach alter und neuer Auffassung. – Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, **10**: 133–155, 5 Abb.; Freiburg i. Br.

Wittenbrink, J. & Werner, W. (2010) mit einem Beitrag von Selg, M.: Erläuterungen zu den Blättern KMR 50 L 7910/L 7912 Breisach a. R./Freiburg i. Br.-Nord. – Kt. mineral. Rohstoffe Baden-Württ. 1 : 50 000. – 258 S., 35 Abb., 10 Tab., 2 Anh., 2 Kt. – Freiburg i. Br. (Landesamt f. Geol., Rohst. u. Bergbau, Hrsg.).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau

Jahr/Year: 2012

Band/Volume: 102

Autor(en)/Author(s): Werner Wolfgang

Artikel/Article: Schätze unter dem Boden: Was wissen wir über die tiefliegenden Rohstoffe in Baden-Württemberg? 37-91