

2 Die mineralischen Rohstoffe des Landes Baden-Württemberg und ihre Verwendung

2.1 Überblick, Systematik

Ein allgemeiner Überblick über die in der Erdkruste vorkommenden Rohstoffe („Bodenschätze“) eines größeren Gebietes kann nach unterschiedlichen Kriterien vorgenommen werden. Gebräuchlich sind Gliederungen nach Zusammensetzung (Hauptbestandteile), wirtschaftlicher Bedeutung, Verwendung, rechtlicher Zuordnung, regionalgeschichtlichen Aspekten, Verbreitung oder geologischem Alter. Als Grob-Systematik für alle Bodenschätze wird häufig eine Kombination aus Zusammensetzung und Einsatzbereich verwendet. Die wichtigsten Bodenschätze lassen sich so grob in folgende Hauptrohstoffgruppen gliedern:

- Steine und Erden
- Industriemineralien einschließlich Salzgesteine
- Energierohstoffe
- Metallrohstoffe

Für Baden-Württemberg entspricht diese Reihung in etwa auch einer Gliederung nach der Häufigkeit: Steine und Erden-Rohstoffe sind besonders vielfältig und treten in großen Vorkommen auf (Abb. 2), die unter dem Begriff „Industriemineralien“ zusammengefassten Rohstoffe Quarzsande, (hochreine) Kalksteine für Weiß- und Branntkalk, Gips- und Anhydritstein, Fluss- und Schwerspat sind in Südwestdeutschland ebenfalls weit verbreitet. Die Salzgesteine treten besonders im Mittleren Muschelkalk in großen Lagerstätten auf, in kleineren Lagerstätten im Alttertiär des Oberrheingrabens enthalten sie auch Kalisalze. Auf dem Gebiet der Steinsalzproduktion steht Baden-Württemberg derzeit an der Spitze der deutschen Bundesländer. Energierohstoffe wie Ölschiefer, Erdöl, Erdgas, Torf, Kohle und Uranerz sind hingegen nur in vergleichsweise kleinen Vorkommen anzutreffen. Auch wirtschaftlich interessante Anreicherungen von Metallen in Erzlagerstätten sind recht selten; besonders in bergbau- und industrie-geschichtlicher Hinsicht kommt ihnen aber große Bedeutung zu. Auf vielen Schwarzwälder Mineralgängen wäre es möglich, Metallerze beim Fluss- und Schwerspatbergbau mitzugewinnen.

Für Baden-Württemberg hat sich nachfolgend aufgelistete Systematik als sinnvoll erwiesen, die auch als Legendengliederung in die Karte der mineralischen Rohstoffe von Baden-Württemberg 1 : 50 000

(KMR 50) Eingang gefunden hat; die meisten Rohstoffgruppen zählen zu den Steine und Erden-Rohstoffen, die zu den Industriemineralien gerechnet sind *kursiv* gedruckt:

- Kiese und Sande für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag
- Natursteine für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag (mit den Untergruppen A – D):
 - (A) Untergruppe Karbonatgesteine
 - (B) Untergruppe Vulkanite
 - (C) Untergruppe Plutonite
 - (D) Untergruppe Metamorphite
- Zementrohstoffe
- Ziegeleirohstoffe (Grobkeramische Rohstoffe)
- Naturwerksteine
- *(Hochreine) Kalksteine für Weiß- und Branntkalk*
- *Sulfatgesteine (Gips- und Anhydritstein)*
- *Salzgesteine*
- *Fluss- und Schwerspat*
- Energierohstoffe (Ölschiefer, Erdöl, Erdgas, Torf, Kohle und Uranerz)

Die Ölschiefer werden traditionell zu den Energierohstoffen gerechnet, obwohl sie heute hauptsächlich zur Herstellung von Portlandzement verwendet werden und somit eigentlich Zementrohstoffe sind. Da jedoch die geringmächtigen Vorkommen im Unterjura im Vorland der Schwäbischen Alb vor allem wegen ihres Energieinhalts für die Zementhersteller von Interesse sind, kann die alte Bezeichnung beibehalten werden. Phonolith, ein vulkanisches Gestein tertiären Alters (ca. 20 Mio. Jahre), wurde zuerst nur als Naturstein für den Verkehrswegebau genutzt, heute zählt er aufgrund seiner puzzolanischen Eigenschaften zu den Trassrohstoffen und somit zu den Industriemineralien.

Bei der allgemeinen Beschreibung der Rohstoffvorkommen des Landes und bei der Darstellung des aktuellen Bedarfs (Kap. 3) wird im Allgemeinen nach der o. g. Gliederung vorgegangen. Bevor eine Übersicht über die Verbreitung der wichtigsten mineralischen Rohstoffe gegeben wird, soll noch auf eine für die Genehmigungspraxis wichtige Untergliederungsmöglichkeit eingegangen werden. Diese geht auf das Bergrecht zurück und ist für viele genehmigungsrechtliche Aspekte von Belang. Unter Bergrecht versteht man die Gesamtheit der Normen, durch welche die Rechtsverhältnisse im Zusammenhang mit dem Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen geregelt werden, die dem Geltungsbereich des Bundesberggesetzes unterfallen.



Rechtliche Einteilung der Bodenschätze

1. Bergfreie Bodenschätze (d. h. das Eigentum am Grundstück erstreckt sich nicht auf den Bodenschatz) wie z. B. Buntmetalle, Eisen, Mangan, Salze, Edelmetalle, Uran, Thorium, Erdöl, Erdgas, Kohle und Erdwärme.
2. Grundeigene Bodenschätze unter Bergrecht.
3. Grundeigentümergebundene Bodenschätze (außerhalb des Bergrechts, wenn nicht untertägige Gewinnung stattfindet).

Die diesbezüglichen Abgrenzungen erfolgen durch Auflistung chemischer Elemente, aber auch mithilfe einer Kombination mineralogisch-geologischer Rohstoffbegriffe (Kohle, Erdöl, Erdgas, Steinsalz, Kalisalz, Kalk, Magnesit, Granit, Andalusit usw.). Der bergrechtliche Charakter von Bodenschätzen ist generell durch den § 3 des Bundesberggesetzes (BBergG) vom 13. August 1980 (BGBl I, S. 1310) geregelt. Die Zugehörigkeit zu den grundeigenen Bodenschätzen i. S. dieses Gesetzes ist in § 3 Abs. 4 BBergG festgelegt. Die Zuständigkeit für die bergrechtliche Zuordnung von Bodenschätzen i. S. des § 3 Abs. 4 BBergG liegt bei den gem. § 142 BBergG zur Durchführung dieses Gesetzes bestimmten Bergbehörden. In Baden-Württemberg ist das Wirtschaftsministerium die Oberste Bergbehörde, untere Bergbehörde ist die Landesbergdirektion im Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB, Abt. 9 im Regierungspräsidium Freiburg).

Da die Beurteilung der Art und Qualität von Bodenschätzen in der Sachkompetenz u. a. der Staatlichen Geologischen Dienste liegt, werden diese auch von den Bergbehörden um die gutachterliche Bewertung von Bodenschätzen im Hinblick auf deren bergrechtliche Zuordnung gebeten. Das BBergG als Bundesgesetz erfordert eine bundeseinheitliche Handhabung, weshalb es notwendig ist, dass auch die gutachterliche Bewertung der betreffenden Bodenschätze unter einheitlichen Gesichtspunkten erfolgt.

Die Zugehörigkeit eines Bodenschatzes zu den grundeigenen Bodenschätzen i. S. von § 3 Abs. 4 Nr. 1 BBergG regelt sich jeweils nach der *Eignung* des Bodenschatzes für bestimmte Verwendungszwecke (nicht nach dem aktuell vorgesehenen Verwendungszweck). Die Eignung muss für den naturreinen Zustand des Bodenschatzes oder nach dessen Aufbereitung gegeben sein (Beschluss des BVerwG vom 24. Februar 1997 4 B 260.96). Unter „Aufbereitung“ wird hier eine solche verstanden, die für Massenrohstoffe im großtechnischen Maßstab durchgeführt werden kann und Stand der Technik ist. Die der Beurteilung der Eignung zugrunde liegenden Kennwerte für die Rohstoff-

qualität müssen repräsentativ für den Lagerstättenkörper sein. Treten in einer Lagerstätte Horizonte bzw. Lagerstättenteile mit unterschiedlicher Eignung des Rohstoffs auf, ist bei der Bewertung die Eignung derjenigen Rohstoffe zugrunde zu legen, deren Gewinnung Ziel der unternehmerischen Tätigkeit ist.

Grundeigene Bodenschätze nach § 3 Abs. 4 Nr. 1 BBergG, welche in Baden-Württemberg abgebaut werden, sind:

- **Quarz und Quarzit**, soweit sie sich zur Herstellung von feuerfesten Erzeugnissen oder Ferrosilizium eignen; aufgrund gängiger Verwaltungspraxis wird zur Eignungsfeststellung ein Quarzanteil von ≥ 80 Masse-% sowie der Fallpunkt des Segerkegels (SK 26) zugrunde gelegt. Zu den relevanten Quarzrohstoffen zählen Quarzsande, quarzreiche Kiessande, Quarzsandsteine, andere quarzreiche Festgesteine, Quarzite und Gangquarze.
- **Ton**, soweit er sich zur Herstellung von feuerfesten, säurefesten oder nicht als Ziegeleierzeugnissen anzusehenden keramischen Erzeugnissen oder zur Herstellung von Aluminium eignet. Ton gilt als zur Herstellung von säurefesten Erzeugnissen geeignet, wenn die Säurebeständigkeit nach DIN 51102, Teil 1 (von 1976) am gebrannten Tonkörper nachgewiesen wurde. Die Brenntemperatur muss dabei zwischen 1000 und 1300 °C liegen.
- **Trass** bezeichnet vulkanische Gesteine, welche die Eigenschaft der Puzzolanität besitzen, d. h. getemperte Mehle dieser Gesteine erhärten hydraulisch in Gegenwart von Wasser und Calciumhydroxid. Die Reaktionsfähigkeit steht in Zusammenhang mit dem Gehalt an SiO_2 in energiereichem, glasartigen Zustand oder der Anwesenheit von Zeolithen. Derzeit einziges genutztes Trassgestein Baden-Württembergs ist der zeolithreiche Phonolith des Kaiserstuhls (Kap. 2.8.3). Auch der glasreiche Suesvit des Nördlinger Rieses besitzt puzzolanische Eigenschaften.

Weitere – jedoch in Baden-Württemberg nicht gewonnene – grundeigene Bodenschätze sind: Basaltlava mit Ausnahme des Säulenbasalts, Bauxit, Bentonit und andere montmorillonitreiche Tone, Dachschiefer, Feldspat, Glimmer, Kaolin, Kieselgur, Pegmatitsand, Speckstein und Talk.

Unter Bergaufsicht stehen außerdem alle Aufsuchungs-, Gewinnungs-, Verfüllungs- und Sicherungsarbeiten *unter Tage*, also auch z. B. von Kalkstein oder Anhydritstein, sowie die bergfreien Rohstoffe Steinsalz, Fluss- und Schwerspat.

Regionaler Überblick

Vorkommen wirtschaftlich interessanter oberflächennaher Rohstoffe

Mineralische Rohstoffe nachgewiesen | prognostiziert

- Kiese, sandig
- Sande aus verwitterten Sandsteinen
- Sande, z. T. kiesig
- Natursteine (Karbonatgesteine)
- Natursteine (Vulkanite)
- Natursteine (Plutonite)
- Natursteine (Metamorphite etc.)
- Naturwerksteine
- Zementrohstoffe
- Hochreine Kalksteine
- Ziegeleirohstoffe
- Energierohstoff (Ölschiefer)
- Sulfatgesteine

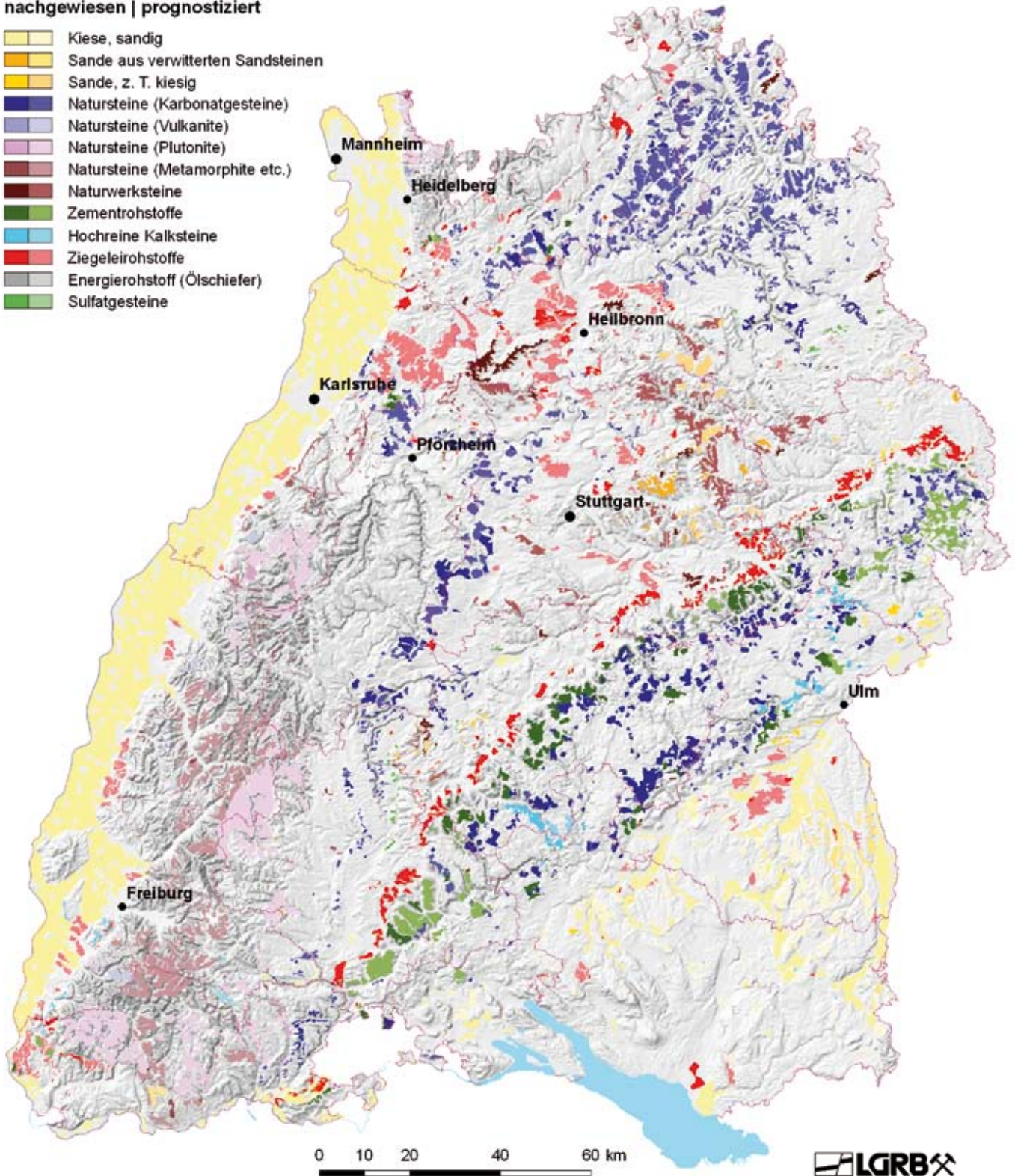


Abb. 2 Verbreitung der wirtschaftlich interessanten oberflächennahen Rohstoffe in Baden-Württemberg zusammengestellt aus den rohstoffgeologischen Kartenwerken des LGRB.



Die Übersichtskarte von Abb. 2 lässt erkennen, dass vier Rohstoffgruppen in großen Arealen des Landes auftreten: Die in gelben Farbtönen dargestellten Kiese und Sande im Oberrheingraben und im Alpenvorland (Abb. 3 und 4), die in blauen Farben gehaltenen Karbonatgesteinsvorkommen (Kalksteine, z. T. Dolomitsteine) der Muschelkalklandschaft (vor allem Obere Gäue, Hohenloher Ebene, Bauland), der Schwäbischen Alb (Abb. 5) und der Vorbergzone des Oberrheingrabens, die in roten Farben gehaltenen Ziegeleirohstoffe (vor allem Albvorland, Zabergäu, Kraichgau; Abb. 6)



Abb. 3 Kiesabbau im Oberrheingraben bedeutet i. d. R. Nassabbau – Luftaufnahme im Gebiet Meißenheim, Ortenaukreis (Betriebs-Nr. RG 7512-2)*.

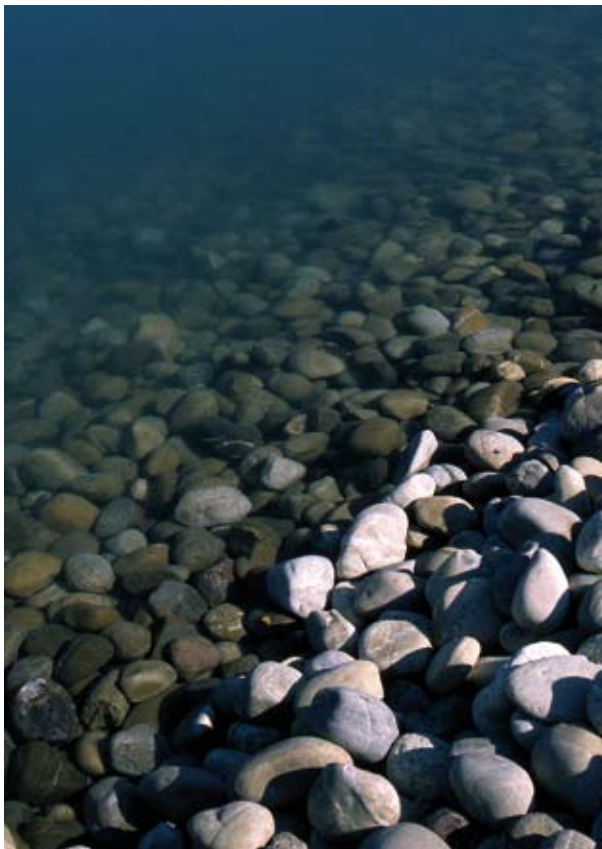


Abb. 4 Einer der wichtigsten Baurohstoffe des Landes: Kies.



Abb. 5 Rohstoffe für Straße, Beton und Chemie: Kalksteine des Oberjuras der Schwäbischen Alb (hell, oben) und des Muschelkalks (dunkelgrau).



Abb. 6 Ton – Rohstoff für die keramische Industrie. Das Foto zeigt ein Beispiel aus dem Keuper von Maulbronn-Zaisersweiher (RG 7019-5)*.

sowie die in Violetttönen markierten Granite und Quarzporphyre des Schwarzwälder und Odenwälder Grundgebirges.

Weite Verbreitung haben auch die Zementrohstoffe der Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes (Zementmergel, Oxford-Kalke/Wohlgeschichtete Kalke, Ölschiefer des Unterjuras), die zur Gruppe der Natursteine für den Verkehrswegebau gerechneten Metamorphite (Gneise) des Schwarzwalds und die Naturwerksteine der Buntsandsteinlandschaft und des Keuperlandes, bei denen es sich

* Die Betriebs-Nr. der Rohstoff-Gewinnungsstelle setzt sich aus der Blatt-Nr. der TK 25 und einer laufenden Nummer zusammen, vgl. Beilagenkarte im Anhang.

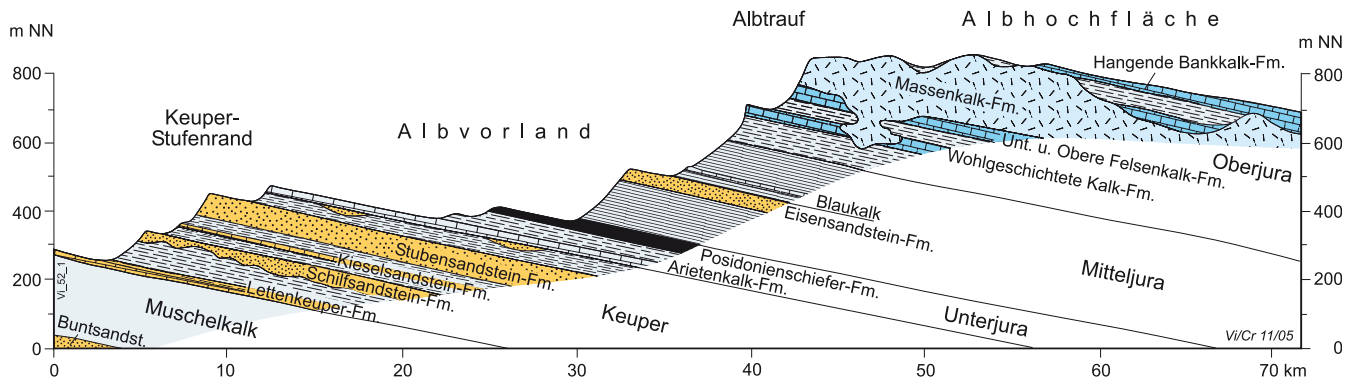


Abb. 7 Südwestdeutsches Schichtstufenland im Bereich der Schwäbischen Alb. Farblich herausgehoben sind die rohstoffwirtschaftlich relevanten Einheiten zwischen Keuperland und der Hochalb. *Gelb:* Für die traditionsreiche Naturwerksteinindustrie wichtige Sandstein-Formationen. *Schwarz:* Der zu den Energierohstoffen gezählte Posidonienschiefer (= Ölschiefer). *Blau:* Geschichtete und massive Kalksteine des Oberjuras, welche sowohl als Natursteine als auch z. T. als Zementrohstoffe verwendet werden können.

vor allem um die Sandsteine der Buntsandstein-, Lettenkeuper-, Schilfsandstein- und Stubensandstein-Formationen handelt (Abb. 7 bis 8b). Die ganz überwiegende Zahl historischer Gebäude wurde aus diesen Sandsteinen errichtet. Naturwerksteine prägen das Ortsbild unserer Städte und Dörfer, sie begegnen uns sozusagen auf Schritt und Tritt (Abb. 9). Zu den Naturwerksteinen zählen auch die Sinterkalksteine von Cannstatt, Zwiefalten und Riedlingen; sie sind unter den Bezeichnungen Cannstatter, Gauinger und Zwiefalter Travertin bekannt. In württembergisch Franken gibt es zahlreiche Steinbrüche, die fossilreiche Bankkalksteine im Oberen Muschelkalk gewinnen. Sie liegen im Crailsheimer Muschelkalk (Crailsheim–Satteldorf) und in den Krensheimer Quaderkalken.

Kleinere Ausstriche weisen die Vorkommen von Quarzsanden auf. Hierbei handelt es sich vor

allem um die jungtertiären Grimmelfinger Graupensande auf der Schwäbischen Alb bei Ulm, die Mürbsandsteine in der Stubensandstein-Formation (Abb. 8a) und die auf Verwitterung und Umlagerung von Keupersandsteinen zurückgehenden Sande im Raum Stuttgart–Schwäbisch Hall–Ellwangen, die sog. Goldshöfer Sande. Auch im Oberrheingraben treten im Jungtertiär (Pliozän) und in den älteren Kieslagern Sande auf, die einen über 70% liegenden Quarzanteil aufweisen. Schon durch einfache Aufbereitung in der Grube lassen sie sich zu Sanden mit mehr als 80% Quarzanteil veredeln.

Auch die wertvollen Gipslagerstätten des Mittleren Keupers („Gipskeuper“) erscheinen auf Übersichtskarten nur in kleinen Flächen; der Übergang in Anhydritsteine, die vorrangig im Tiefbau zu gewinnen sind, ist naturgemäß fließend (Abb. 10).



Abb. 8a Einblick in den Aufbau des Schichtstufenlandes bieten die zahlreichen Steinbrüche und Gruben des Landes. Das Foto zeigt ein Beispiel aus der Stubensandstein-Formation in Ostwürttemberg: Mürbsandsteine (gelblich) in Wechsellagerung mit roten Tonsteinen. Sandgrube Espan (RG 6928-2) bei Tannhausen.

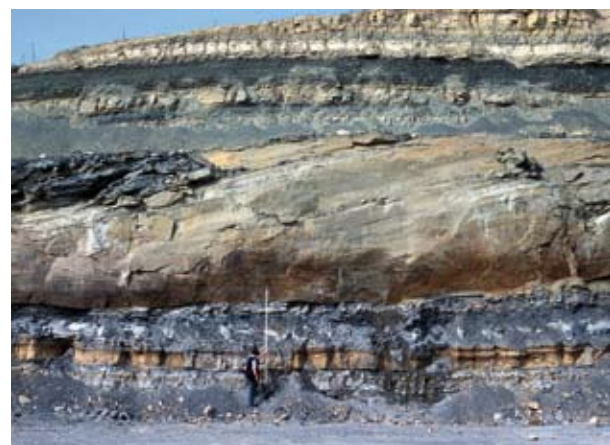


Abb. 8b Beispiel aus dem südwestdeutschen Schichtstufenland (vgl. Abb. 7): Hauptsandstein der Lettenkeuper-Formation, oberste Sohle des Muschelkalksteinbruchs Vellberg-Eschenau (RG 6925-1).



Im Mittleren Muschelkalk treten rd. 40 m mächtige Anhydritsteinlager auf; sie überdecken die Steinsalzlager des Muschelkalks und haben ganz entscheidend dazu beigetragen, dass diese vielerorts noch erhalten sind. Baden-Württemberg gehört zu den größten Steinsalzproduzenten Europas. Seit rd. 180 Jahren wird in Südwestdeutschland Steinsalzbergbau betrieben. Das erste Salzbergwerk Deutschlands war die 1825 angelegte und bis 1900 betriebene Grube Wilhelmglück bei Schwäbisch Hall, heute sind noch die Gruben Heilbronn und Stetten bei Haigerloch in Betrieb. Über den Umfang des Steinsalzbergbaus bekommt man eine Vorstellung, wenn man weiß, dass alleine im Gebiet Kochendorf–Heilbronn Grubenräume mit einer Länge von mehr als 620 km geschaffen wurden (Kap. 3.8.3). Das Steinsalz des Mittleren Muschelkalks wurde früher auch an mehreren Stellen zwischen Rheinfeldern am Hochrhein und Schwäbisch Hall durch Solung gewonnen – eine Methode, die in Südwestdeutschland wegen der langfristigen Nachteile durch Bergsenkungen aufgegeben wurde. In der angrenzenden Schweiz wird sie bei Schweizerhalle aber noch angewandt.

Geringe flächenhafte Ausdehnung haben die als Zementzuschlagstoffe geeigneten Suevite des Nördlinger Rieses, die aufgrund ihres Glasanteils für Kompositzemente spezieller Eigenschaften verwendet werden (Puzzolane, „Trass“); früher wurden sie auch als Bausteine genutzt. Ähnliches hinsichtlich Ausstrichgröße und Verwendung gilt für die zeolithreichen Phonolithe des östlichen vulkanischen Kaiserstuhls, die in einzelnen stock- bis pilzartigen Intrusionen auftreten. Ihre Verwendungsvielfalt beinhaltet neben dem o. g. Einsatz als Puzzolane auch den als Dünger, Bodenverbesserer, Zusatzstoff für die Rauchgasreinigung, als Naturfango u. v. m. (Kap. 2.8.3).

Im Untertagebergbau werden im Schwarzwald die Minerale Fluss- und Schwerspat gewonnen. Daneben tritt eine große Zahl anderer, meist gangförmiger Mineralisationen, insbesondere verschiedene Metallerze auf. Hierzu gehören auch die zu den Energierohstoffen gezählten Uranerze. Nur noch an einer Stelle – nämlich in der Grube Clara bei Oberwolfach – werden Silber-Kupfer-Erze als Beiprodukte zur Fluss- und Schwerspatgewinnung abgebaut. Die vielfältigen Ganglagerstätten des Schwarzwalds werden ausführlich bei METZ (1977, 1980), BLIEDTNER & MARTIN (1986) sowie WERNER & DENNERT (2004) beschrieben.

In den nachfolgenden Kapiteln wird auf die wichtigsten Charakteristika der in Baden-Württemberg genutzten Rohstoffe sowie auf ihre Verbreitung und Anwendungsbereiche eingegangen.



Abb. 9 Gesteinsrohstoffe begleiten uns auf Schritt und Tritt: Beispiel aus der Freiburger Altstadt, Straßenpflaster aus Buntsandstein (rotbraun) und Kiesgeröllen aus dem Rhein.



Abb. 10 Gips und Anhydrit gehören zu den Industriemineralen, ohne die modernes Bauen nicht mehr denkbar ist: Beispiel von „Blumengips“ in Anhydritstein. Angeschliffene Gesteinsplatte aus der stillgelegten Grube Haßmersheim (RG 6720-4, lange Bildseite = ca. 3 cm).



Abb. 11 Steinsalz des Mittleren Muschelkalks von Heilbronn.

2.2 Kiese und Sande, Quarzsande

2.2.1 Kiese und Sande für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag

Vorbemerkungen: Unter den mineralischen Rohstoffen Baden-Württembergs kommt den quartärzeitlichen Kiesen und Sanden mengenmäßig die größte Bedeutung zu; im langjährigen statistischen Mittel nehmen sie mit ca. 40 % des Rohstoffbedarfs die Spitzenposition bei den Fördermengen ein (RG-DB¹ für 2005: 41,7%). Aus den Kieslagerstätten des Oberrheingrabens werden rd. 60 % der jährlichen Fördermenge dieses Massenrohstoffs gewonnen. Das zweite wichtige Fördergebiet von Kiesen und Sanden ist das oberschwäbische Alpenvorland. Kleine Kies- und Sandvorkommen werden auch noch in den Flusstälern von Neckar, Obere Donau und Wutach genutzt. Aus den meist sehr quarzreichen Sanden der tertiärzeitlichen Molasse, den Mürbsandsteinen im Verbreitungsgebiet der Keuper-Schichten und den Granit- und Gneisgrusen des Schwarzwalds werden nur vergleichsweise geringe Mengen gefördert, die aber für die lokale Versorgung von großer Bedeutung sind.

Wichtige Vorkommen: Die quartärzeitlichen Kies- und Sandablagerungen im **Oberrheingraben** (Abb. 12 bis 15) stellen die mächtigsten Vorkommen dieser Art in Mitteleuropa dar. Die Ablagerungen lassen sich in mehrere Kieslager gliedern, die von stark steinigen, z. T. blockigen Fein- bis Grobkiesen aufgebaut werden. Aufgrund des entlang des Oberrheingrabens in Süd-Nord-Richtung zu verzeichnenden Wechsels in der lithologischen Zusammensetzung werden die Kies- und Sandablagerungen in verschiedene quartärstratigraphische Formationen untergliedert: Neuenburg- und Breisgau-Formationen im Süden, Ortenau-Formation in der Mitte sowie Mannheim- und Kurpfalz-Formationen im Norden (Abb. 14). In der Praxis wird aber meist die alte Gliederung der Kieslager verwendet (Abb. 15).

Der Sandgehalt im Oberen und Mittleren Kieslager liegt meist zwischen 20 und 25 %. Zur Tiefe hin ist ein Übergang in stärker sandige Kiese aller Körnungen festzustellen. Die Kies- und Sandablagerungen im Oberrheingraben werden von Geröllen aufgebaut, die durch Transport in fließenden Gewässern aus dem Abtragungsschutt der Alpen, des Schweizer Juras und der Randgebirge des Oberrheingrabens (Schwarzwald, Vogesen) in den letzten 2,6 Mio. Jah-



Abb. 12 Quartärzeitliche sandige Kiese in der Grube Sandweier (RG 7115-10) südwestlich von Rastatt.

ren hervorgegangen sind. Zu den außergewöhnlich hohen Kiesmächtigkeiten kam es durch die nahezu kontinuierliche Einsenkung der als Oberrheingraben bezeichneten tektonischen Scholle zwischen den Randgebirgen Schwarzwald, Vogesen, Odenwald und Pfälzer Wald in einem Zeitraum, zu dem durch das wiederholte Abschmelzen der pleistozänen Alpengletscher große Sedimentmengen antransportiert wurden.

Der weite fluviatile Transport der Gerölle aus den Alpen bewirkte, dass vorwiegend verwitterungsresistente Komponenten im Oberrheingraben zur Ablagerung kamen. Wenig widerstandsfähiges Gestein wurde beim Transport im fließenden Gewässer großteils zu Sand, Schluff und Ton aufgearbeitet. Das Material von den Randgebirgen – Granite, Gneise, Anatexite, Quarzporphyre, Sandsteine, Kalksteine – hatte einen deutlich geringeren Transportweg zu überwinden, so dass in den Kiesablagerungen mit hohem „Schwarzwaldanteil“ auch Gerölle mit weniger günstigen Materialeigenschaften auftreten.



Abb. 13 Luftbild der Kiesgruben Neuried-Ichenheim (RG 7512-1) und Meißenheim (RG 7512-2) mit Aufbereitungsanlagen und angrenzendem Rheinhafen (rechts).

¹ RG-DB: Gewinnungsstellen-Datenbank des Landesamtes für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, die seit 2004 mit den Regionalverbänden mittels Internettechnologie gemeinsam betrieben wird. (vgl. Textkasten auf S. 156).

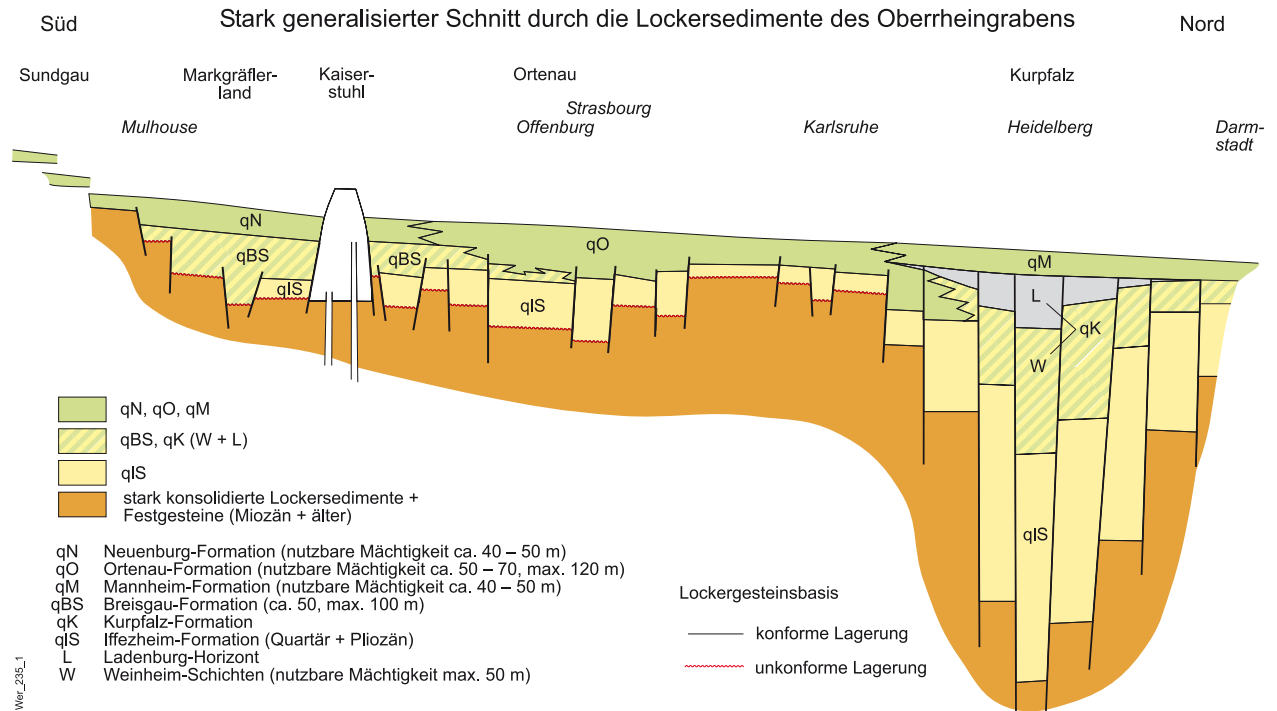


Abb. 14 Stark generalisierter quartärgeologischer Süd–Nord-Schnitt durch die Lockersedimente des Oberrheingrabens mit Darstellung der wichtigsten Formationen und der Verbreitung der nutzbaren Kieslager (grün und gelb-grün schraffiert).

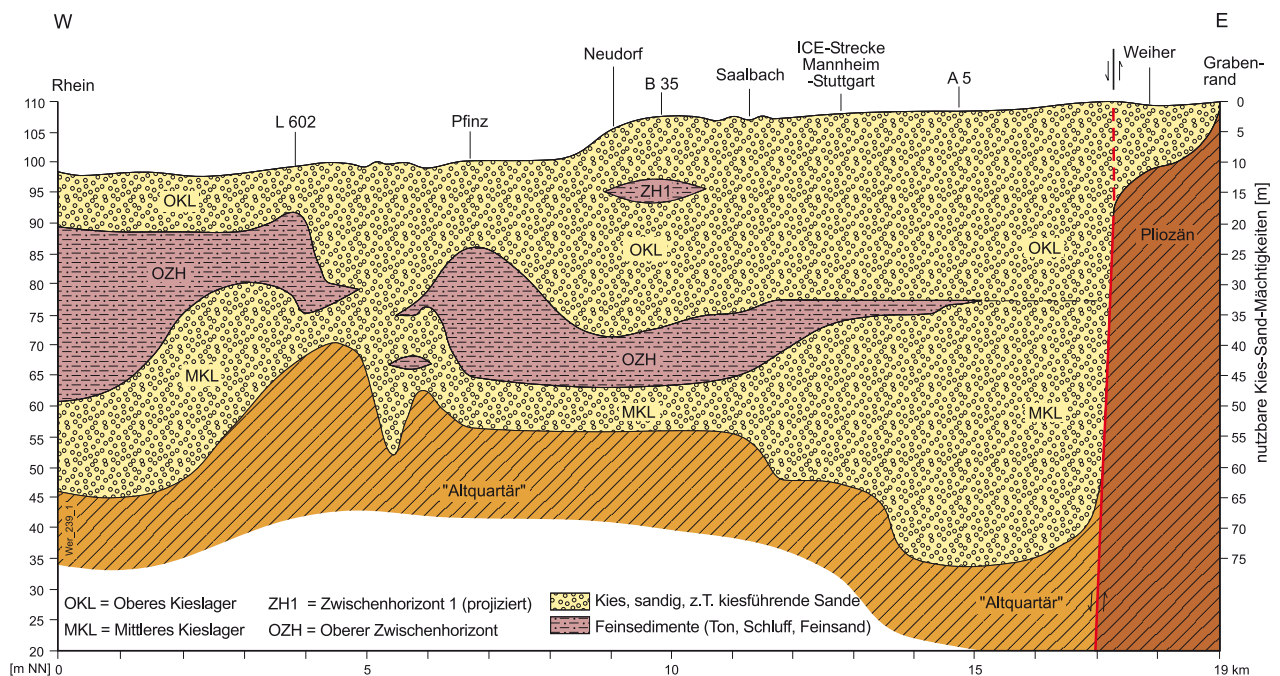


Abb. 15 Geologischer West–Ost-Schnitt durch die junge Sedimentfüllung im Oberrheingraben nördlich von Karlsruhe. Der Schnitt zeigt, dass nutzbare Kies- und Sandablagerungen am Grabenrand bis 70 m mächtig sind, in westliche Richtung aber von einer ansteigenden „Kiesbasis“ (hellbraun) und von teilweise mächtigen Feinsedimenteinschaltungen unterbrochen werden. Vor Planung eines Kiesabbaugebietes müssen die „Untergrundverhältnisse“ gut bekannt sein. Die nutzbaren Kiesmächtigkeiten schwanken im Beispiel aufgrund der geologischen Wechsel zwischen 10 und 70 m.

Oberschwäbisches Alpenvorland:

Während der Vereisungsphasen des Quartärs erreichten die Gletscher aus den Tälern der Alpen das oberschwäbische Alpenvorland. Sie hinterließen zwischen Alpenrand und Donau Moränensedimente und kiesig-sandige Schmelzwasserablagerungen (Abb. 16 bis 20). In den dazwischenliegenden Warmzeiten kam es zu Bodenbildungen sowie vereinzelt auch zur Entstehung von Mooren. Während im Oberrheingraben durch die kontinuierliche Einsenkung der Kruste nahezu alle durch Flüsse transportierten Gesteinskomponenten erhalten sind, fehlen im Alpenvorland große Mengen der ehemaligen Kies- und Sandablagerungen; hier hielten sich Akkumulation und Erosion annähernd die Waage – bereits abgelagerte Kieskörper wurden

oft durchschnitten und abtransportiert, neue Sedimente kamen hinzu. Verschieden alte Ablagerungen kamen so nebeneinander zu liegen (Abb. 19).

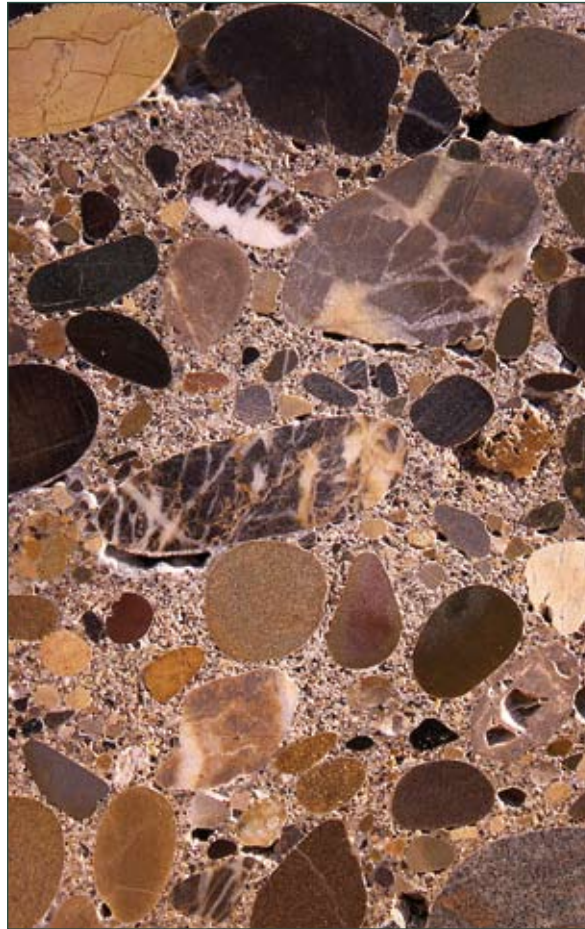


Abb. 16 Kies aus dem oberschwäbischen Alpenvorland (Bildbreite = 9 cm, angeschnittener Bohrkern eines zu Nagelfluh verfestigten Abschnitts).

Im Alpenvorland sind besonders Ablagerungen der letzten beiden Vergletscherungsphasen von rohstoffwirtschaftlicher Bedeutung. Abbildung 20 verdeutlicht, wie es während der Abschmelzphasen im Vorland der Gletscher zur Entstehung großer Kies- und Sandvorkommen kam; ihre Zusammensetzung und die nachfolgende erdgeschichtliche Entwicklung und Veränderungen durch Erosion, Umlagerung, Überlagerung, Zementation usw. sind ausschlaggebend dafür, ob es sich hierbei heute um wirtschaftlich verwertbare Vorkommen (Lagerstätten) handelt oder nicht. Der Maximalstand des würmzeitlichen Rheingletschers, der ungefähr von der Endmoräne nachgezeichnet wird, folgt etwa der Linie Schaffhausen–Engen–Pfullendorf–Ostrach–Bad Schussenried–Bad Waldsee–Leutkirch–

Isny. In den von dort ausgehenden, nach Norden und nach Westen entwässernden Schotterrinnen hat sich i. d. R. der Kiesabbau entwickelt.



Abb. 17 Kies- und Sandvorkommen in Oberschwaben: Über quarzreichen Grobsanden der Oberen Meeresmolasse haben sich risszeitliche, sandige Mittel- bis Grobkiese rinnenartig eingeschnitten. Beide Einheiten werden in der Sand- und Kiesgrube Mengen-Rosna (RG 7921-6) abgebaut.



Abb. 18 Die Schotter des Alpenvorlandes können oft im Trockenabbau gewonnen werden. In der Kiesgrube Datthausen (RG 7723-6) werden risszeitliche Schotter abgebaut und für Frostschutz- und Kiestragschichten aufbereitet.

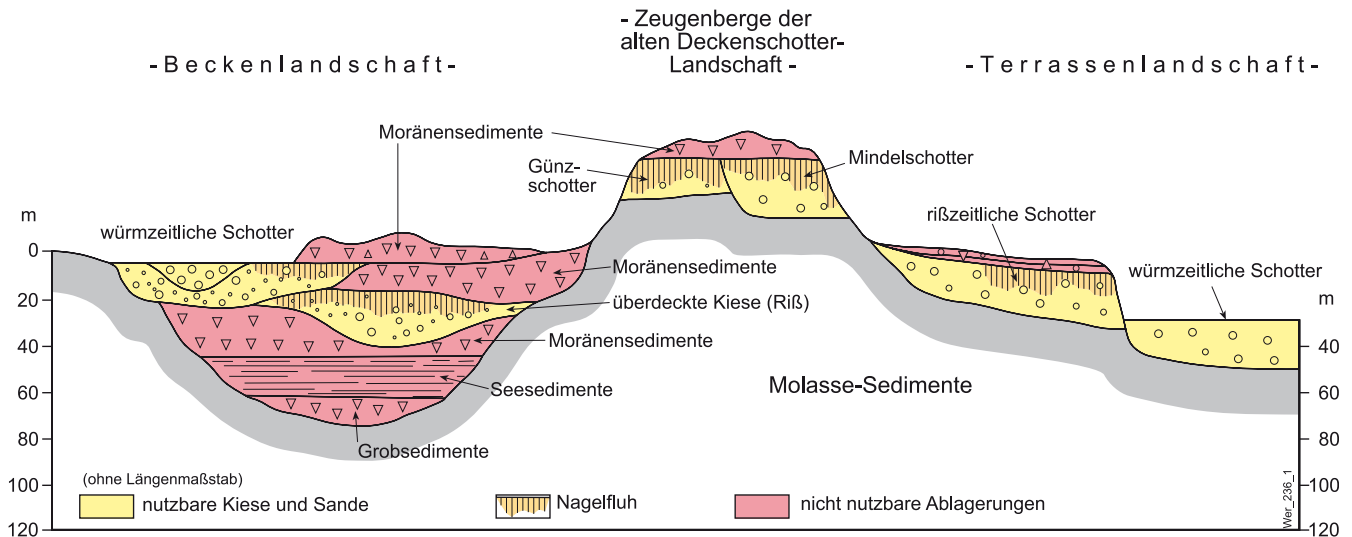


Abb. 19 Schematischer quartärgeologischer Schnitt für das Alpenvorland mit Darstellung der unterschiedlich alten Kieskörper in der Becken- und Terrassenlandschaft sowie auf den Zeugenbergen der Deckenschotterlandschaft.

Beim Abschmelzen der Gletscher bildeten sich auch hinter der Endmoräne kleinere Schotterfelder oder -rinnen. In diesen findet heute ebenfalls Abbau statt.

Wirtschaftlich bedeutend sind ferner die jungen Kiesaufschüttungen der nach Süden zum Bodensee entwässernden Flüsse Argen und Schussen. Im Westen folgten die kiesführenden Schmelzwasserströme von Stockach über Singen, dem Hochrheintal bis Basel. In der 2–3 km breiten Klettgau-rinne liegen rd. 60 m mächtige Kiese der Riß- und Würmeiszeiten.

Schichtstufenland eingeschnitten haben, kam es naturgemäß an vielen Stellen ebenfalls zur Ablagerung von Kies und Sanden. Diese Vorkommen sind allerdings i. Allg. von geringer Mächtigkeit (unter 20 m) und minderer Qualität. Für die lokale Versorgung sind sie trotzdem von Bedeutung. Allerdings sind die Vorräte nach jahrzehntelangem Abbau schon stark zurückgegangen und die Nutzungskonflikte mit dem Grundwasserschutz sind hier besonders ausgeprägt, wie die Kiesgruben bei Tübingen und Donaueschingen zeigen.

Flusstäler: In den Flusstälern, die sich in die Mittelgebirge Schwarzwald, Odenwald und Schwäbische Alb sowie in das vorgelagerte

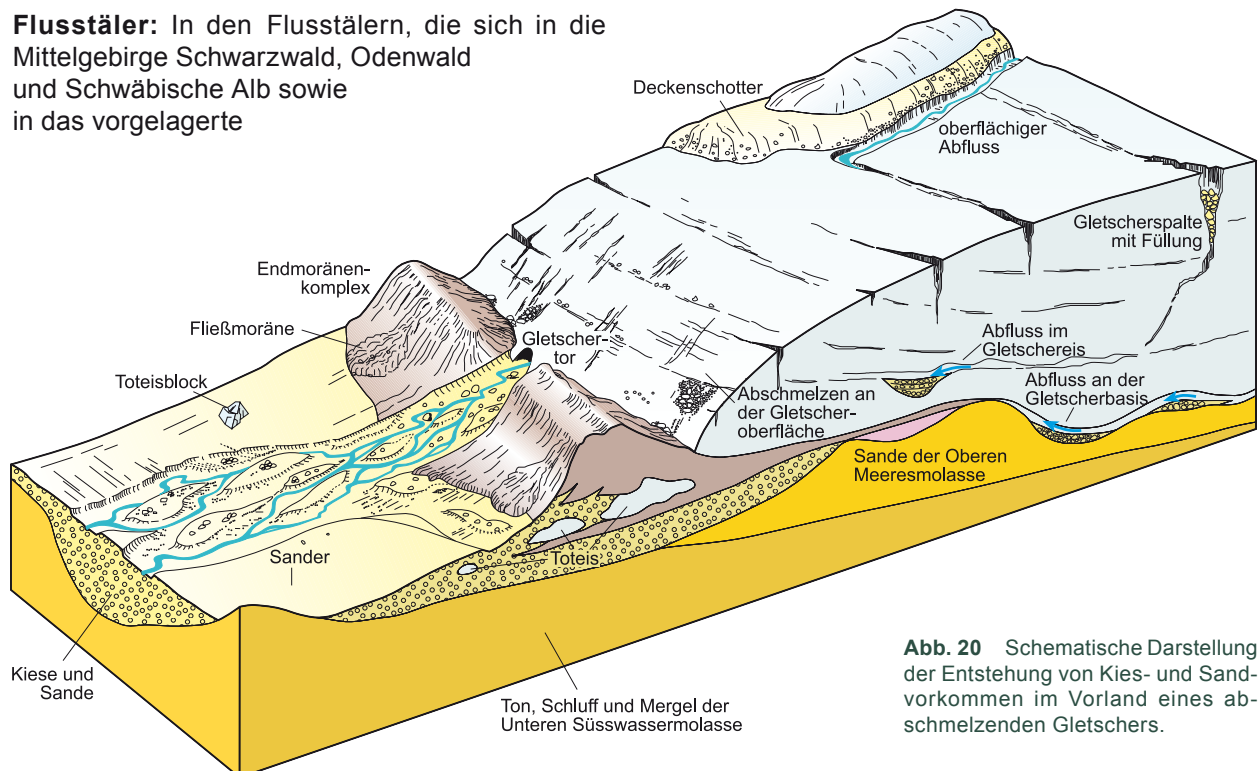


Abb. 20 Schematische Darstellung der Entstehung von Kies- und Sandvorkommen im Vorland eines abschmelzenden Gletschers.

Verwendung: Kiese und Sande werden vor allem für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag eingesetzt. Generell werden die vielfältigen, für den spezifischen Einsatzzweck optimierten Körnungen gegliedert in:

- Natursande
- Rundkiese
- Kies-Sand-Gemische
- Splitte und Brechsande
- Edelsplitte und Edelbrechsande
- Schotter
- kornabgestufte Gemische.

Kiese, also gerundete Gesteinskörner mit Korngrößen zwischen 2 und 60 mm, werden in großen Mengen vor allem zu folgenden Zwecken verwendet:

- Hochbau (Betonzuschlag, Mörtelzuschlag)
- Straßen- und Gleisbau
- Tiefbau (Frostschutz-, Tragschichtkies, Beton, Decken)
- Transportbeton
- Beton- und Fertigteileindustrie
- Werkmörtel
- Garten- und Landschaftsbau
- Spezialzwecke wie Filterkiese, Quarzkiese für die Glasproduktion, Splitt für Dichtungbeläge usw.

Sande, also Lockersedimente, die aus Korngemengen zwischen Kies- und Schluffkorngröße (0,063 und 2 mm) bestehen, finden z. B. folgende Verwendung:

- Bettungs-, Fugen- und Verfüllsande (Pflastersande, Kabelsande)
- Beton-, Mörtel- und Estrichsande
- Filtersande
- Magerungsmittel in grobkeramischen Massen
- Sande zur Herstellung von Kalksandstein
- Industriesande in der Gießerei-, Eisen-, Glas-, Feuerfest- und Chemischen Industrie.



2.2.2 Quarzreiche, z. T. kiesige Sande („Quarzsande“)

Vor bemer kungen: Zu dieser Gruppe gehören überwiegend lockere Sandvorkommen in quartär- oder tertiärzeitlichen Ablagerungen; auch die aus den Keuper-Sandsteinen durch Verwitterung, d. h. Lösung des Gesteinsbindemittels, hervorgegangenen Sande sind quartärzeitliche Bildungen über Schichten des Keupers (Mürbsandsteine der Kiesel-sandstein- und Stubensandstein-Formationen). Die pliozänen Sande des Oberrheingrabens gehen vor allem auf die Abtragung der sich im Tertiär herauswöl-benden Buntsandstein-Schichten zurück. Industriell genutzt werden in Baden-Württemberg folgende, abschnittsweise kiesige Quarzsandvorkommen:

- Sande aus Mürbsandsteinvorkommen des Keu-pers in den Regionen Stuttgart und Heilbronn-Franken (Abb. 8a und 21)
- Goldshöfer Sande im Raum Ellwangen–Aalen (Abb. 22)
- Sande des Jungtertiärs im Oberrheingraben („Weißes Pliozän“ der Iffezheim-Formation)
- Grimmelfinger Graupensande im Gebiet west-lich von Ulm (Abb. 23).

Auch in quartären Sandablagerungen des Ober-rheingrabens kann der Quarzgehalt lokal so stark ansteigen, dass man von Quarzsanden sprechen kann, insbesondere dann, wenn große Mengen um-gelagerter pliozäner Sande enthalten sind. In der bergrechtlichen Nomenklatur handelt es sich dabei um Quarzsande, wenn sie nach einfacher Aufberei-tung mehr als 80% Quarz enthalten (vgl. Kap. 2.1).

Wichtige Vorkommen: Innerhalb dieser Roh-stoffgruppe besitzen die **Grimmelfinger Graupen-sande**, auch als Sande der Grimmelfingen-Schich-ten bezeichnet, die größte Bedeutung (Abb. 23). Bei den in den Sandgruben westlich von Ulm (Region Donau-Iller) genutzten Graupensan-den handelt es sich um karbonatfreie, oft feinkiesige Mittel- bis Grobsande; vorherrschend sind Mittelsande. Wirt-schaftlich bedeutsame Sandvorkommen in den Grimmelfingen-Schichten sind auf einen rd. 13 km langen und 0,7 – 2 km breiten Streifen innerhalb der sog. Graupensandrinne beschränkt. Aus-führliche Informationen hierzu liefert die KMR 50 Ulm/Neu-Ulm (Bock 2001).

Abb. 21 Bei Meinhardt-Hohenstraßen werden angewitterte Sandsteine der Stubensandstein-Formation („Mürbsandsteine“) gewonnen und als Natursande der Körnungen 0/2 und 0/4 an die Baustoffindustrie verkauft. Sie werden von roten Tonsteinen überlagert (Gewinnungsstelle RG 6923-1, Lage vgl. Beilagenkarte).



Abb. 22 Die fein- bis grobkörnigen Goldshöfer Sande werden z. B. in der Sandgrube Dietrichsweiler (RG 6926-1) abgebaut und sowohl als sog. Kabel- und Maurersand als auch als Zuschlagstoff für Putze und Beton verwendet.



Abb. 23 Grimmelfinger Graupensande aus dem Gebiet westlich von Ulm in typisch feinkiesiger Ausbildung.

Die Sedimente der Graupensandrinne bei Ulm werden zu meist als relativ monotone feinkiesige Sandablagerungen angesehen. Die zahlreichen, auf engem Raum durchgeführten Bohrungen im Gebiet östlich von Ringingen zeigen jedoch, dass bereichsweise ein rascher lateraler und vertikaler Wechsel von vorherrschend sandig-feinkiesigen zu stark schluffig-tonigen Ablagerungen auftreten kann. Die Sedimente der

Grimmelfingen-Schichten haben sich während des Miozäns in einer NE-SW gestreckten Rinne am Nordrand der subalpinen Molasse in Sedimente der Oberen Meeresmolasse oder der Unteren Süßwassermolasse eingetieft. Teilweise liegen sie direkt den Kalksteinen des Oberjuras auf. Die Aufschlüsse bei Kirchen belegen, dass der Transport der kiesigen Sande mit großer Transportenergie erfolgte, was tiefe „gletscherartige Schrammen“ auf den Massenkalken hinterlassen hat.

Diese Sande, deren Gesteinskomponenten aus dem ostbayerischen kristallinen Grundgebirge entstammen, werden für vielfältige industrielle Einsatzbereiche verwendet. Charakteristische Eigenschaften sind die recht einheitliche Zusammensetzung sowohl in Bezug auf die Korngrößenverteilung als auch auf den Mineralinhalt und das Fehlen von Karbonatmineralen (von Ausnahmen im Bereich der südlichen Randfazies abgesehen liegen die CaO-Werte unter 0,5%).

Die **Goldshöfer Sande** werden im Gebiet Abtsgemünd-Ellwangen-Aalen in sieben Gruben abgebaut. Die nutzbare Mächtigkeit liegt meist zwischen 5 und 12 m. Im Raum Aalen können sie sogar 20 m mächtig werden. Es handelt sich bei diesen Vorkommen um lockere, lagenweise kiesige, oft mittel-, aber partienweise auch grob- und feinkörnige Sande. Zeitlich werden sie in das Altquartär gestellt. Das Geröllspektrum umfasst Weißjura-Feuersteine, Braun- und Schwarzjura-Sandsteine, verkieselte Keuper-Sandsteine, Keuper-Quarze und -Feuersteine sowie Gerölle aus dem Stubensandstein. Neben nur wenige cm dicken, feinsandigen Schluffbändern und -linsen kommen gelegentlich auch einige dm bis 1 m dicke Ton- und Schluffhorizonte vor, die als Hochflutablagerungen und Paläo-Bodenbildungen gedeutet werden (Abb. 22). Es handelt sich bei den Goldshöfer Sanden um altpleistozäne Flussablagerungen der Ur-Brenz, die früher zur Ur-Donau hin (nach SE) entwässerte.

Sande aus Mürbsandsteinvorkommen des Keupers: Sande aus verwitterten und somit weitgehend entfestigten Sandsteinen („Mürbsandsteine“) wurden früher für den örtlichen Bedarf als Bausand in zahlreichen kleinen Gruben aus meist taschenförmig verwitterten, unterschiedlich dimensionierten, mürben Partien des Kiesel- und Stubensandsteins gewonnen. In zahlreichen kleinen Sandgruben wurden Bau-, Form- und Fegesande abgebaut. Die genutzten Mächtigkeiten lagen meist bei 2 – 4 m, nur selten darüber. Größere Gruben im Kieselsandstein bestanden z. B. im Raum Crailsheim-Dinkelsbühl. Die genutzten Sandmächtigkeiten betragen meist 3 – 6 m, z. T. auch 10 – 11 m. Das leicht aufzubereitende Material kann als Zuschlag für Putze und Beton oder für Mineralgemische eingesetzt werden.

Das umfangreiche Erkundungsprogramm des LGRBs für die KMR 50 Blatt Crailsheim mit zahlreichen Kernbohrungen gestattete zwischen Connenweiler und Weipertshofen und im Gebiet Wildenstein Matzenbach die Abgrenzung von mehreren wirtschaftlich interessanten Mürbsandsteinvorkommen im 2. Kieselsandstein (Bock 2005). Aufgrund der hohen bis sehr hohen Quarzgehalte (ca. 85 – 90%), die sich durch eine einfache Aufbereitung noch etwas erhöhen lassen, handelt es sich um einen hochwertigen Rohstoff. Die vorwiegend dolomitisch, untergeordnet kieselig zementierten, harten, meist nur flachgründig verwitterten Sandsteine des 1. Kieselsandsteins, in die sich oft mehrere dm bis 1 – 3 m mächtige Tonsteinlagen einschalten, kommen nach den Erkundungsergebnissen nicht für eine Sandgewinnung in Betracht.

Auch aus verwitterten Sandsteinen der Stubensandstein-Formation wurde früher in mehreren kleinen Gruben Sand für den örtlichen Bedarf gewonnen (Abb. 8a und 21). Die Gruben waren überwiegend in den tonig-kaolinitisch gebundenen Sandsteinen des Mittleren und Oberen Stubensandsteins angelegt. Die früher genutzten Mächtigkeiten überstiegen 4 – 5 m nicht.

Verwendung: Reine Sande und Quarzsande werden vielseitig verwendet. Grundsätzlich wird in der Industrie zwischen (1) Quarzsanden für die Bauindustrie bzw. Bauchemie-Sanden, (2) Quarzsanden als Füllstoffe und (3) Sanden für die Glasherstellung, also „Glas-Sanden“ unterschieden (zur Möglichkeit der Herstellung von Weißglas oder metallurgischem Silizium aus Quarzsand vgl. Kap. 2.10). Füllstoffsande (2) dienen als Füllmittel für Gießharze, Press- und Gießmassen, Gummi, Porzellan, Dispersionsfarben sowie Papier und Pappen. Quarzsande werden auch in Schleif- und Putzmitteln, für Handwaschpasten, in keramischen Massen, Strahlsanden und Kalksandsteinen eingesetzt. Filter aus Quarzsand oder -kies werden zur Filterung von Gebrauchswässern, getrübten und chemischen Lösungen z. B. in Anlagen zur Enteisung, Entmanganung und Entkarbonatisierung benötigt. Sie dienen auch als sog. Inertmaterial für zirkulierende Wirbelschichtanlagen, für Dachpappenabstreuung, als Füllsande für elektrische Sicherungen; und schließlich sind sie in Sandkästen, auf Golfplätzen und in der Tierhaltung (Vogelsande, Aquariensande usw.) unentbehrlich.

Entscheidend für den Einsatz ist der Grad der Aufbereitung: Die Goldshöfer Sande werden z. B. ungewaschen als Kabel- und Maurersand, gewaschen als Zuschlag für Putze und Beton eingesetzt. Die Grimmelfinger Graupensande gehen bei gleichbleibender Qualität in die Zement- und Baustoffindustrie oder werden als Strahlsande, Golf-

platz- und Reithallensande verwendet. Nicht oder nur wenig aufbereitete Sande werden als Kabel- und Abdecksande sowie als Zuschlagstoff für die Ziegelherstellung verwendet. Als Rohstoff für die Buntglasherstellung werden die Graupensande kaum mehr eingesetzt, obwohl sie hierfür meist gut geeignet wären. Zumeist fehlt es nur an der erforderlichen Aufbereitungstechnik.

Mengenmäßig spielen die Quarzsande natürlich im Vergleich zu den unter Kap. 2.2.1 beschriebenen Kiesen und Sanden aus großen Schottervorkommen des Alpenvorlandes und des Oberrheingrabens nur eine geringe Rolle, nur etwas mehr als 1% der Gesamtförderung geht auf die quarzreichen Sande bzw. Quarzsande zurück (Kap. 3.2), auch ist der Einsatz meist relativ hochwertig.

2.3 Natursteine für den Verkehrswegebau, Gruppe Karbonatgesteine (Kalk- und Dolomitsteine)

Vorbemerkungen: Als Natursteine werden zu Bauzwecken verwendete Gesteine bezeichnet, die natürlicher Entstehung sind. Der Begriff verdeutlicht, dass sie von den künstlich hergestellten Steinbaustoffen (z. B. Terrazzo) unterschieden werden sollen. Es handelt sich bei Natursteinen stets um Festgesteine. „Natursteine dienen als Primärrohstoffe zur Errichtung von Bauwerken im weitesten Sinne“ (PESCHEL 1977: 319). Der Begriff Naturstein im weiteren Sinne beinhaltet die beiden Begriffe Natursteine im engeren Sinne und Naturwerksteine. Natursteine im engeren Sinne sind solche natürlichen Festgesteine, die im gebrochenen Zustand und aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften im Baugewerbe eingesetzt werden. Als Naturwerksteine werden durch den Steinmetz behauene oder geschnittene Natursteine bezeichnet.

Wichtige Vorkommen: Karbonatgesteine stellen mengenmäßig die zweitwichtigste Rohstoffbasis in Südwestdeutschland dar; in 2005 machte die baden-württembergische Förderung von Kalksteinen für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag rd. 33% der Gesamtförderung an Steine-Erden-Rohstoffen aus. Die wichtigsten Vorkommen befinden sich in den Schichten des Muschelkalks, des Oberjuras der Schwäbischen Alb und des Mitteljuras der Vorbergzone am östlichen Rand des südlichen Oberrheingrabens. Dolomitsteine werden im Muschelkalk vor allem aus dem Niveau des Trigonodus-dolomits gewonnen, widerstandsfähige massige



Dolomitsteine treten vereinzelt aber auch im Oberjura der Ostalb in mächtigen Vorkommen auf, wo sie zu Straßenbaustoffen verarbeitet werden.

Das größte geschlossene Verbreitungsgebiet von Karbonatgesteinen, vor allem von Massen- und Bankkalksteinen, stellt die Schwäbisch-Fränkische Alb dar (Abb. 7 und 24, s. a. Beilagenkarte); sie weist im Südwesten auch das größte Potenzial für diesen Rohstoff auf. Aufgrund ihrer günstigen Lage zu den Verbrauchszentren spielen jedoch die Kalksteine des Oberen Muschelkalks in mengenmäßiger Sicht die größere Rolle; sie werden derzeit an 53 Abbaustandorten in den oft tief eingeschnittenen Tälern des Neckars und seiner Zuflüsse abgebaut. Die beiden herausragenden Probleme für die meisten Steinbrüche im Muschelkalk sind die großen Abraummengen durch überlagernde Dolomit- und Tonsteine sowie die Nähe zur Wohnbebauung; beide Probleme werden sich für viele Standorte in den nächsten Jahren verstärken.



Abb. 24 Die Kalksteine des Oberjuras der Schwäbischen Alb treten in zwei charakteristischen Faziestypen auf. Das Foto zeigt die Kalk- und Mergelsteine der „Wohlgeschichteten Kalk-Formation“ (Steinbruch am Plettenberg bei Dotternhausen, RG 7718-1).

Schwäbische Alb: Sie stellt mit Erhebungen von 700 – 1000 m NN den morphologisch markantesten Teil des Süddeutschen Schichtstufenlands dar (Abb. 7). Der Oberjura der Schwäbischen Alb – auch als Weißer Jura oder Malm bezeichnet – wird aufgebaut durch eine bis 550 m mächtige Wechselfolge von Kalksteinen in massiger oder gebankter Ausbildung mit unterschiedlichem Dolomit- bzw. Dedolomitgehalt, tonigen Kalksteinen und Kalkmergelsteinen (Abb. 24 bis 28). Diese Gesteine entstanden aus Sedimenten, die im Epikontinentalmeer in Tiefen zwischen 50 und 150 m im Zeitraum vor 152 – 135 Mio. Jahren abgelagert wurden und danach einer Reihe von tektonischen und stofflichen Veränderungen unterworfen waren (z. B. GEYER & GWINNER 1986, GIESE & WERNER 1997, VILLINGER 2006). Die Kalksteine der sog. Bioherm- oder Massenkalkfazies gehen lateral und vertikal an vielen Stellen in die sog. Biostromfazies mit geschichteten, meist schwach tonigen Kalksteinen über (Abb. 24 und 25). Die Oberjura-Kalksteine sind Ablagerungen einer Karbonatplattform, die Teil eines von Rumänien über Polen, Süddeutschland, Portugal bis Florida reichenden Gürtels darstellt.

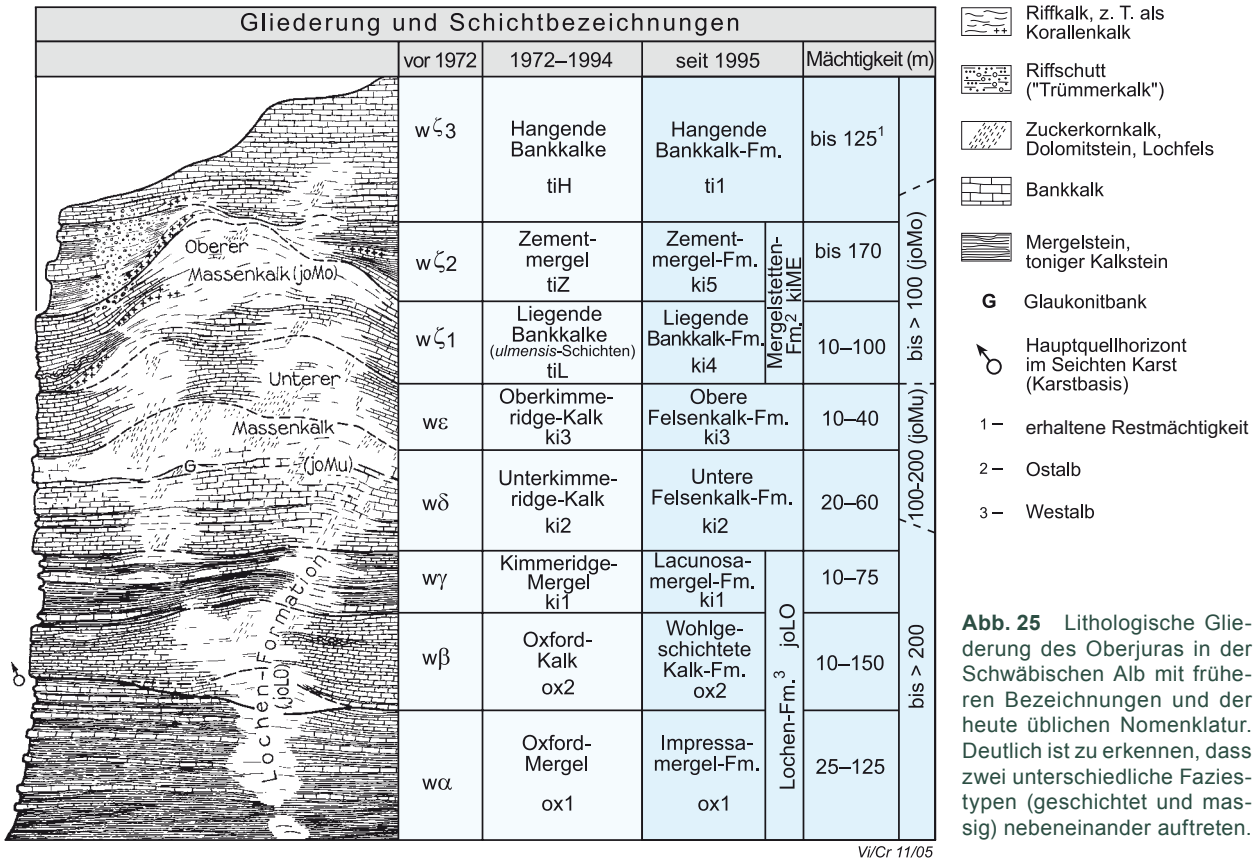
Die Kalksteine des Oberjuras sind eine bedeutende Ressource für die Natursteingewinnung in Baden-Württemberg. Abgebaut werden geschichtete Kalksteine, sog. Bankkalke (Abb. 24), massig entwickelte Schwammriffkalksteine (Massenkalke) und untergeordnet auch oolithische Kalksteine, wie der Brenztaloolith bei Ulm. Für Straßenbaumaterial besonders geeignet sind die Kalksteine des höheren Oberjuras und hier vor allem die massigen Felsenkalke sowie die gut geschichteten Liegenden und Hangenden Bankkalke (Abb. 26 bis 28).

Kalksteine der Vorbergzone (südlicher Oberrheingraben): Am südlichen Oberrhein und westlichen Hochrhein können die Karbonatgesteine aus vier erdgeschichtlichen Formationen genutzt werden:

- Kalksteine des Oberen Muschelkalks
- Mitteljura-Kalksteine (meist als Hauptrogenstein bezeichnet)
- Oberjura-Kalksteine (Korallenkalk-Formation oder Rauracien-Kalk)
- Tertiär-Konglomerate, die hauptsächlich aus umgelagertem Hauptrogenstein bestehen.

Die größte Bedeutung kommt dem 30 – 40 m mächtigen Hauptrogenstein zu (Abb. 29), der in den Kalkwerken bei Bollschweil und Merdingen vor allem zu Kalkputzen verarbeitet wird. Aufgrund der besonderen geologischen Situation im Oberrheingraben handelt es sich jedoch stets um relativ kleine tektonische Schollen, in denen Karbonatgesteine zu Tage treten.

Oberjura der Schwäbischen Alb (ca. 250 – 550 m)



Kalksteine der Muschelkalklandschaft: Die Gesteine des Oberen Muschelkalks sind meist zwischen 80 und 90 m mächtig und bestehen im Wesentlichen aus grauen, dichten bis feinkörnigen, gut gebankten, oft plattigen Kalksteinen (Abb. 30 bis 32). Sie bilden eine charakteristische, rhythmische Wechsellagerung aus unregelmäßig knauerig-wulstig geschichteten, dünnbankigen, harten Kalksteinen und flaserig-linsigen Mergelfugen.

Die Bankmächtigkeit der Kalksteine beträgt etwa 5 – 20 cm. Eingeschaltet sind Tonmergelsteinhorizonte (meist <5% des Gesamtgesteins) sowie mittelbankige, häufig gröberkörnige Fossil- und Partikelbänke (Abb. 33 und 34), die eine Untergliederung der Gesteinsabfolge ermöglichen. Die Kalksteine des Oberen Muschelkalks werden von Dolomitsteinen und dolomitischen Kalksteinen über- und unterlagert. Abb. 31 und 32 verdeutlichen

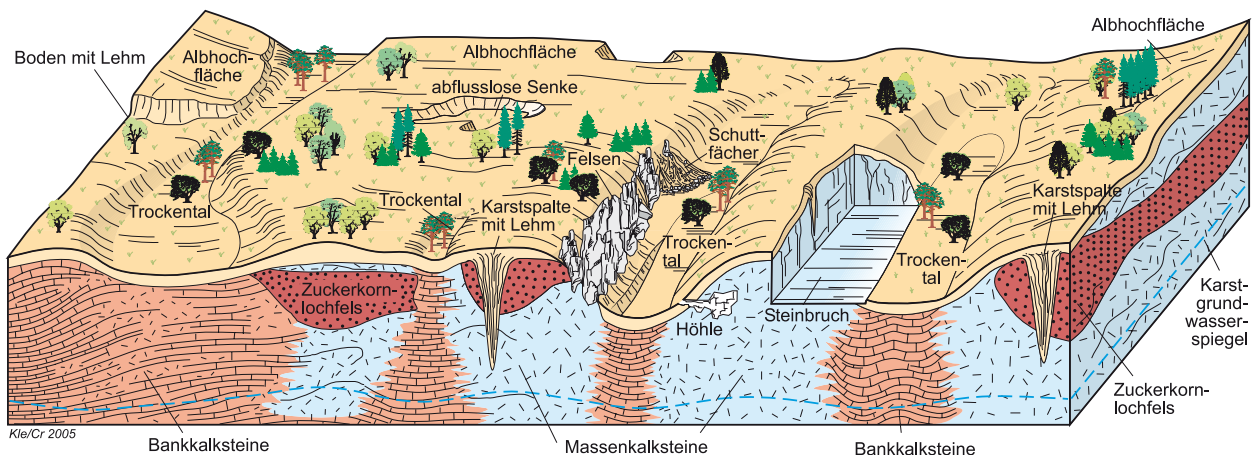


Abb. 26 Schematisches geologisches Blockbild der Albhochfläche mit den zwei wichtigsten, ineinander verzahnten Fazies des Oberjuras: Bankkalksteine und Massenkalksteine. Die meisten Steinbrüche sind in den Massenkalksteinen zu finden, weil hier hochwertige Straßenbaustoffe gewonnen werden können.



Abb. 27 Dickbankige bis massige Kalksteine des Oberjuras auf der mittleren Schwäbischen Alb (Steinbruch Straßberg, RG 7820-2).



Abb. 28 Vorherrschend massige Kalksteine des Weiß- oder Oberjuras im Steinbruch Blaustein-Wippingen (RG 7525-9).



Abb. 29 Die industriell genutzten Kalksteinvorkommen im Braun- oder Mitteljura des südlichen Oberrheingrabens bestehen aus Kalkooiden (Durchmesser: ca. 1 mm), wie die mikroskopische Aufnahme zeigt. Probe aus dem Hauptrogenstein des Schönbergs bei Freiburg i. Br.

den Aufbau und die stratigraphische Gliederung des Oberen Muschelkalks am Beispiel der Verhältnisse im Raum Pforzheim.

Verwendung: Kalksteine können je nach ihren chemischen oder physikalischen Eigenschaften für eine Vielzahl wichtiger industrieller Einsatzbereiche verwendet werden. Während für die Hoch- und Tiefbauindustrie, speziell den Verkehrswegebau, die mechanischen Eigenschaften besonders wichtig sind („Natursteine für den Verkehrswegebau“), ist für die Zement-, Baustoff-, Chemie- und Glasindustrie die chemische und mineralogische Zusammensetzung von Bedeutung (zur Verwendung reiner Kalksteine für Weiß- und Branntkalk vgl. Kap. 2.8.1). Verkarstete, durch Verwitterung und Verlehmung verunreinigte oder sekundär umgewandelte, dolomitische Kalksteine sind für alle Einsatzzwecke von Nachteil, insbesondere weil vielfach mehrere Produkte aus einem Gesteinsvorkommen erzeugt werden sollen. Für die Verwendung im Verkehrswege-, Hoch- und Tiefbau werden an die Kalksteine hohe Qualitätsanforderungen gestellt. Hier sind insbesondere die Frostbeständigkeit (DIN 52 104 Teil 1 und 2) sowie die Druck-, Schlag- und Kantfestigkeit (DIN 52 105, DIN 52 108, und DIN 52 115 Teile 1 –3) zu nennen.

Die wichtigsten Einsatzgebiete für Karbonatgesteine sind in folgenden industriellen Bereichen zu finden:

- Baugewerbe, d. h. im Hoch- und Tiefbau, insbesondere im Verkehrswegebau (s. u.)
- Baustoffindustrie (Putze, Mörtel)
- Zementindustrie:
77 – 80 % CaCO_3 ,
max. 3% MgCO_3 (entspr. 1,43 % MgO),
max. 3% K_2O und Na_2O
- Düngemittelherstellung
- Landwirtschaft
- Trink- und Gebrauchswasserreinigung
- Umweltschutz:
 - Abwasserreinigung
 - Rauchgasentschwefelung
 - Waldschadensbekämpfung
- Glasindustrie, Farbenherstellung, Zuckerfabrikation.

Insbesondere beim Straßenbau werden die Kalksteine des Oberjuras in großem Umfang als Brechsand, Splitt, Schotter und grobstückige Schroppen eingesetzt. Kornabgestufte Gemische – die besonders



Abb. 30 Kalksteine des Oberen Muschelkalks: Diese dunkelgrauen Kalksteine unterscheiden sich deutlich von den Kalksteinvorkommen der Schwäbischen Alb. In einer Mächtigkeit von ca. 65 m werden sie z. B. im Steinbruch Talheim bei Heilbronn (RG 6821-4) gewonnen. Über den Kalksteinen liegt hellbrauner Lösslehm.

gut verdichtbar sind – dienen bei stark setzungsfähigem Untergrund als Bodenaustauschmaterial. Große Blöcke werden zur Uferbefestigung eingesetzt.

Bei diesen Verwendungsmöglichkeiten müssen die Kalksteine frostsicher sein. Dies ist z. B. bei Kalksteinen der Wohlgeschichteten Kalk-Formation selten gegeben, weshalb sie hauptsächlich für den nicht qualifizierten Wegebau eingesetzt werden. Günstig sind hingegen die Materialeigenschaften der Massenkalksteine; sie eignen sich zur Herstellung einer großen Zahl güteüberwachter Produkte für den Straßen- und Betonbau.

Durch Aufbereitung werden aus Kalksteinen des Oberen Muschelkalks folgende Hauptprodukte hergestellt: Gesteinsmehle, Splitte und Brechsande, Edelsplitte und Edelbrechsande, Schotter, kornabgestufte Gemische, Wasserbausteine und Schropfen. Gesteinsmehle dienen als Füller oder als Bodenverbesserer und Düngemittel. Für letzteres werden auch Dolomitsteine verwendet. Gebrochene Körnungen werden im Straßen- und Verkehrswegbau sowie als Zuschlagstoffe in der Beton- und Mörtelindustrie eingesetzt. Große Blöcke können Verwendung als Werksteine (Mauersteine, Boden- und Wandplatten usw.) sowie für den Hangverbau und im Garten- und Landschaftsbau finden.

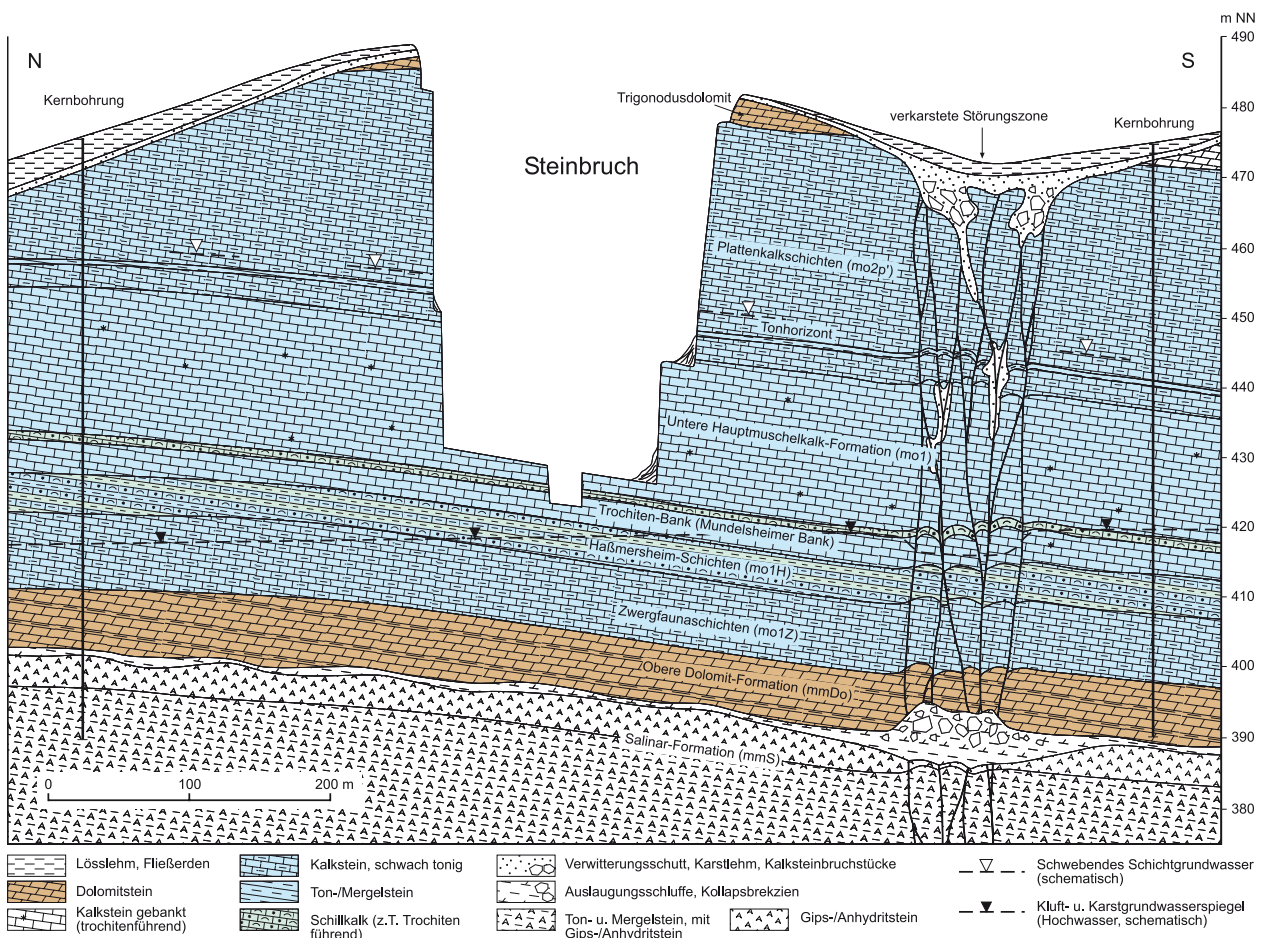


Abb. 31 Schematischer geologischer Schnitt (5-fach überhöht) durch den Oberen Muschelkalk im Raum Pforzheim (aus: KNAAK 2004). Der Schnitt verdeutlicht den Aufbau des Oberen Muschelkalks. Die blau dargestellten Gesteine sind von großer rohstoffwirtschaftlicher Bedeutung.

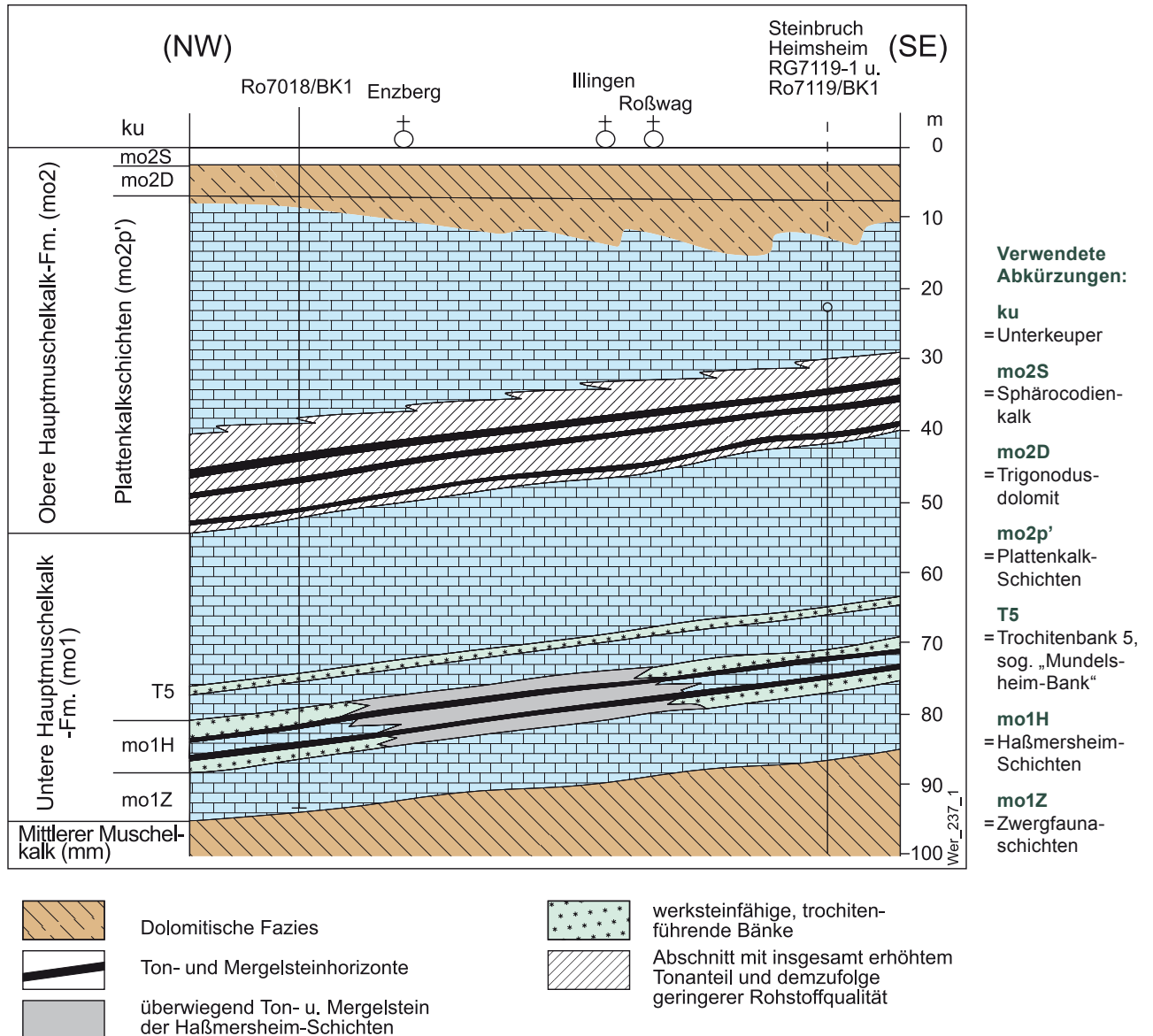


Abb. 32 Prinzipielle stratigraphische Gliederung und Mächtigkeitsentwicklung des Oberen Muschelkalks im Raum Pforzheim (aus: KNAAK 2004). In Richtung Südosten nimmt die Mächtigkeit der Plattenkalkschichten ab.



Abb. 33 Der in württembergisch Franken verbreitete sog. Krenshheimer Quaderkalk im Oberen Muschelkalk besteht vornehmlich aus Muschelschalen und stellt einen beliebten Naturwerkstein dar (Bildbreite = 6 cm).

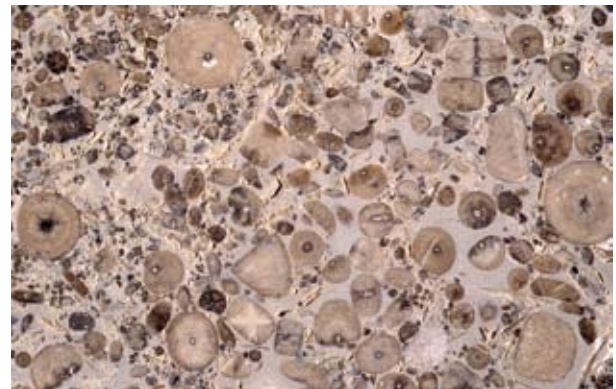


Abb. 34 Fossile Stielglieder von Seelilien, sog. „Trochiten“, treten in zwei werksteinfähigen Bänken im Raum Satteldorf im Oberen Muschelkalk auf und sind als Crailsheimer Muschelkalk bekannt (Steinbruch Satteldorf-Neidenfels, RG 6826-3) (Bildbreite = 6 cm).

2.4 Natursteine für den Verkehrswegebau, Gruppe Grundgebirgs-gesteine (Gneis, Granit, Quarzporphyr, Phonolith)

Rohstoffwirtschaftlich bedeutende Gesteine des Grundgebirges treten im Schwarzwald, Odenwald und im Vulkanmassiv des Kaiserstuhls zu Tage (s. Beilagenkarte). Die magmatischen Gesteine Granit und Quarzporphyr sind vor allem im nördlichen und südlichen Schwarzwald und im Odenwald verbreitet. Die als Para- und Orthogneise, Meta- oder Diatexite und Amphibolite bezeichneten metamorphen Gesteine bauen den mittleren und einen großen Teil des südlichen Nordschwarzwalds auf. Gangförmige Intrusionen vom Typ der Lamprophyre, Granitporphyre und Ganggranite sind in viele genutzte Granit- und Gneisvorkommen eingeschaltet und werden wegen der meist deutlich anderen mechanischen Eigenschaften beim Abbau oft ausgehalten und separat aufbereitet. Metapelite, Metagrauwacken und Schollenagglomerate werden nur in wenigen Steinbrüchen gewonnen.

Viele Steinbrüche im Grundgebirge wurden nicht dort angelegt, wo besonders hochwertige Gesteinskörper zur Verfügung stehen, sondern entstanden unter Berücksichtigung einer günstigen Lage an größeren Verkehrswegen. Deshalb gelangen oftmals recht inhomogene, tektonisch stark gestörte und nur wenig widerstandsfähige Gesteine zum Abbau, die nur minderwertig eingesetzt werden können und Abraumanteile enthalten. Zunehmende Materialanforderungen und steigende Energiepreise werden eine Neuorientierung erfordern, zumal die Grundgebirgsgesteine ein wertvolles und bislang relativ wenig genutztes Lagerstättenpotenzial aufweisen. Durch ihre verstärkte Nutzung als Massenrohstoffe für den Straßenbau könnten z. B. die Kies- und Sandvorkommen des Oberrheingrabens geschont werden.

2.4.1 Gneis

Vorbemerkungen: Als Gneis wird ein metamorphes Gestein bezeichnet, das vor allem aus den Mineralen Feldspat und Quarz besteht und das regellos verteilte oder auch parallel zu den feinen Foliationsflächen („Schieferung“) orientierte Glimmer oder Amphibole aufweist. Man unterscheidet generell zwischen den Paragneisen und den Orthogneisen. In Abb. 35 ist ein typischer Paragneis des Zentralschwarzwalds dargestellt. Während Orthogneise aus magmatischen Gesteinen hervorgegangen sind, werden die Paragneise auf die Umwandlung (Metamorphose) von Sediment-

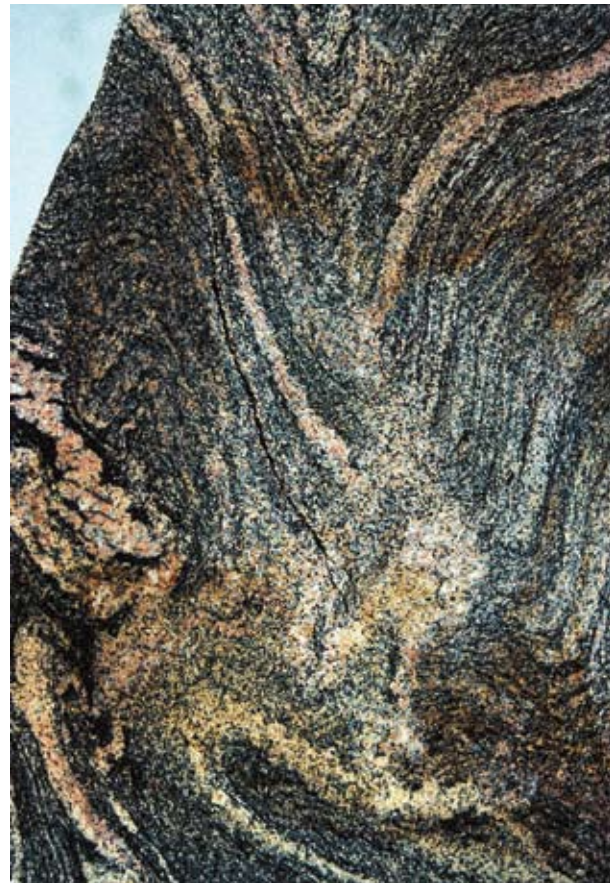


Abb. 35 Gefalteter Paragneis aus dem Schwarzwälder Grundgebirge östlich von Freiburg i. Br.

gesteinen zurückgeführt. In diese können auch verschiedene vulkanische Ablagerungen eingeschaltet sein. Durch Funde von fossilem Nannoplankton im Kristallin des Zentral- und des Südschwarzwalds sind jungproterozoische bis ordovizische aber auch jüngere paläozoische Alter (vor 550 – 400 Mio. Jahren) für die Ausgangssedimente der Gneise nachgewiesen worden (HANEL et al. 1996, HANN & SAWATZKI 1998, KALT et al. 2000).

Ihre heutige Erscheinungsform haben die Gneise durch eine Gesteinsumwandlung erhalten, die sich im Schwarzwald im Zeitraum zwischen 490 und 325 Mio. Jahren abspielte. Während dieser Metamorphose konnte es bei zunehmender Aufheizung – sofern ausreichend Wasser und Gase im System vorhanden waren – zu granitartigen Aufschmelzungen kommen. Metamorphite mit solchen granitartigen Schlieren werden jeweils nach dem Grad der Aufschmelzung als Anatexite oder Diatexite bezeichnet. Aufgrund hoher mechanischer Festigkeiten besonders geeignet für die Erzeugung von Schottern, Splitten und Brechsanden sind monotone, quarzreiche, meist dickplattig absondernde Paragneise, Orthogneise und Diatexite (Abb. 35 bis 37).

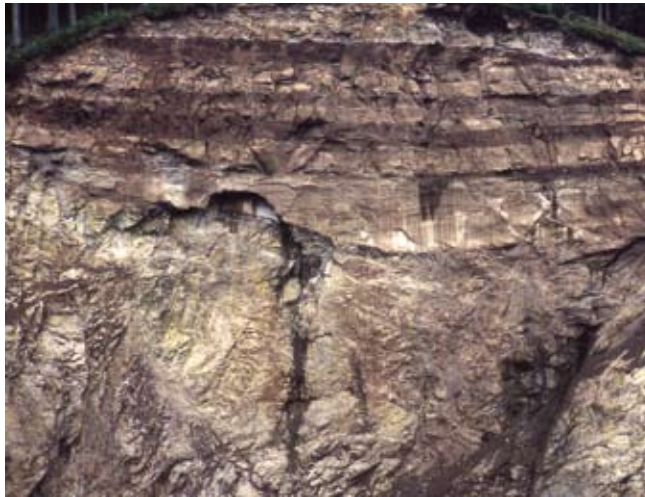


Abb. 36 Das Grundgebirge wird über der rund 300 Mio. Jahre alten Landoberfläche von Sandsteinen des Buntsandsteins überdeckt: Steinbruch Holzwald (stillgelegt) bei Bad Rippoldsau-Schapbach (RG 7515-1).

Eisenbahnschotter früher bei Haslach im Kinzigtal sogar unter Tage abgebaut.

Wichtige Vorkommen: Die größten Verbreitungsgebiete von Metamorphiten liegen zwischen dem Feldberggebiet im Mittleren Schwarzwald² und Oppenau im Nordschwarzwald. Die meisten Steinbrüche befinden sich im Südschwarzwald bei Bärenthal am Titisee (Abb. 38), im Brigachtal bei Villingen-Schwenningen, im Elztal bei Winden und Elzach, im Brettental bei Freiamt und im Kinzigtal bei Gengenbach, Steinach und Hausach. Im südlichsten Schwarzwald werden Paragneise und Gneisanatexite seltener genutzt: In drei großen Steinbrüchen im Steinatal werden bei Detzeln (NE Waldshut-Tiengen) biotitreiche Gneisanatexite gemeinsam mit rötlichen Granitporphyrgängen abgebaut, bei Rickenbach (N Lauffenburg) Paragneise. Eine Besonderheit ist der Steinbruch bei Bernau-Wacht (Feldberg), in dem metamorphe Grauwacken- und Tonsteinserien zur Erzeugung verschiedener „Forstmischungen“ gewonnen werden.

Das Grundgebirge von Schwarzwald und Odenwald ist durchzogen von sehr zahlreichen tektonischen Störungen, die der Migration von unterschiedlichen Lösungen Wegsamkeiten boten. Dabei kam es oft zur Umwandlung der Metamorphite durch Tonmineralneubildung, es entstanden die wenig widerstandsfähigen, oft viele Meter breiten „Ruschelzonen“. Das Gestein dieser Ruschelzonen muss beim Abbau ausgehalten werden; teilweise kann dieses minderwertige Material als Schüttgut verwendet werden, teilweise geht es als Abraum in die Rekultivierung. Andererseits können jedoch auch zahlreiche Gesteinsgänge wie Ganggranite, Pegmatite und Granitporphyre im Grundgebirge auftreten (Abb. 38), die oft zu einer Qualitätssteigerung im Vorkommen beitragen. Linsenartige Vorkommen von Amphiboliten, bei denen es sich um metamorphe vulkanische Gesteine handelt, wurden wegen ihrer Zähigkeit als begehrter



Abb. 37 Die nutzbare Mächtigkeit ist bei Gesteinen des Grundgebirges in den meisten Fällen lediglich durch die Lage des Grundwasserspiegels bestimmt, da ein Abbau im Grundwasser i. d. R. ausgeschlossen ist (RG 8212-1).



Abb. 38 Granitgänge (hellgelblich-grau) durchziehen dunkelgraue Paragneise und führen überwiegend zu einer Verbesserung der Materialeigenschaften hinsichtlich einer Verwendung im Verkehrswegebau. Steinbruch bei Bärenthal, südwestlich Titisee (RG 8114-1).

² In der geologischen Gliederung des Schwarzwalds gehört das Schauinsland–Feldberg-Gebiet noch zum Mittleren Schwarzwald, in der geographischen Literatur aber schon zum Südschwarzwald.

V e r w e n d u n g : Die Gneise und die anderen genannten metamorphen Gesteine werden überwiegend zur Produktion von Schottern und Splitten für den Verkehrswegebau verwendet, auch Schropfen für den Hang- und Uferverbau werden erzeugt. Je nach Beschaffenheit des Vorkommens lassen sich Gemische herstellen, die als Brechsand-Splittgemische und als „Mineralbeton“³ bezeichnet werden; sie dienen vor allem der Befestigung von Wirtschaftswegen im Forst und in der Landwirtschaft. Meist wird hierzu Frostschutzmaterial der Körnung 0/32 verwendet. Aus quarzreichen, klein- bis mittelkörnigen Orthogneisen, wie sie im Kinzigtal auftreten, können auch güteüberwachte, hochwertige Splitte und Bahnschotter erzeugt werden; diese Produkte werden sogar z. T. per Bahn bis in die Schweiz, an den Bodensee und bis Ulm transportiert. Ansonsten werden die Gneisschotter für Straßenunterbau und Dammschüttungen verwendet. Die glimmerreichen, weniger widerstandsfähigen „normalen“ Paragneise werden zu Schüttmaterial, Schropfen und für nicht güteüberwachte Schotter und Splitte sowie kornabgestufte Gemische (z. B. 0/32, 0/45, 0/56) für den Wegebau aufbereitet; Gneisschotter werden auch gerne für Drainagen, Gabionen und Abdeckungen verwendet. Bisweilen sind Paragneisvorkommen durch Verwitterung soweit entfestigt („vergrust“), dass man sie abbaggern kann. Gruse werden unaufbereitet als Auffüllmaterial verwendet.

2.4.2 Granit

V o r b e m e r k u n g e n : Große Teile des Schwarzwälder Grundgebirges bestehen aus mittel- bis grobkörnigen, grauen oder hellroten Graniten (Abb. 39 und 40). Die Hauptgemengteile der Granite sind Feldspat, Quarz und die Glimmer Biotit und Muskovit. Die Granite Südwestdeutschlands gehen auf magmatische Intrusionen von aufgeschmolzenem Krustenmaterial zurück, die im Zeitraum zwischen 340 und 315 Mio. Jahren stattfanden. Die gleichmäßige und enge Kornverzahnung macht diese magmatischen Gesteine zu einem idealen Natursteinmaterial. Die im Vergleich zu anderen Regionen (wie z. B. dem Fichtelgebirge) lebhaft junge Tektonik entlang des Oberrheingraben und seiner Randgebirge resultierte allerdings in einer engständigen Durchklüftung, so dass die Gewinnung von großen Blöcken selten möglich ist.

Wichtige Vorkommen: Zu den großen Plutonen des Südschwarzwalds zählen Bärhalden-, Albtal-, St. Blasien-, Schluchsee-, Schlächtenhaus-, Blauen- und Malsburg-Granit und im nördlichen Zentralschwarzwald und Nordschwarzwald sind es die Plutone von Triberg, Bühlerthal, Forbach, Raumünzach, Seebach und Oberkirch. Es lassen sich ältere Biotit- und jüngere Zweiglimmer-Granite, die neben Biotit auch den Hellglimmer Muskovit führen, unterscheiden. In Steinbrüchen mit z. T. mehr als 100 m hohen Abbauwänden werden aktuell vornehmlich die Granitkörper von Raumünzach und Seebach im Nordschwarzwald, der Triberger Granit (bei Schramberg, Hornberg, Tennenbronn und Yach) und der Eisenbach-Granit bei Hammereisenbach im Zentralschwarzwald sowie der Malsburg-Granit bei Tegernau, Niedertegernau, Marzell, Lütchenbach und Käsacker im westlichen Südschwarzwald und der Albtal-Granit bei Görwihl-Niederwihl und -Tiefenstein im östlichen Südschwarzwald genutzt.

Stark gestörte Bereiche erlauben aber nur die Erzeugung von Schüttmaterialien für den Wege- und Kanalbau. Granitkörper können bis ca. 10 m tief



Abb. 39 Typischer hellgrauer bis rötlich-grauer Schwarzwald-Granit bestehend aus den Mineralen Feldspat (weiß, z. T. auch rötlich), Quarz (grau) und Biotit (schwarz). Das Bild zeigt den Schluchsee-Granit.

³ Mineralbeton ist eine Bezeichnung für ein hochverdichtbares Mineralstoffgemisch mit einem großen Anteil an gebrochenem Gesteinskorn. Beim Einbau muss zur optimalen Verdichtung ein entsprechender Wassergehalt eingestellt werden. Mineralbeton wird ohne Bindemittel zu einem standfesten Baustoff, der z.B. in Straßendecken verwendet wird.

⁴ Fußnote zu Seite 33: Zum Vergleich: Ein Beton mit mehr als 60 N/mm² gilt als „hochfest“, über 150 N/mm² als „ultra-hochfest“.

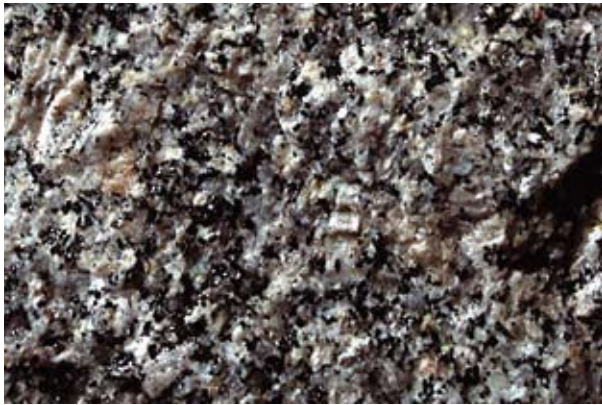


Abb. 40 Schwarzwälder Granit in zwei typischen Varietäten. Grau: Oberkirch-Granit aus Kappelrodeck-Waldum, rötlich: Triberg-Granit aus Schramberg.



Abb. 41 Granit in typischen Einsatzbereichen: als Schottermaterial oder als Pflaster.

durch Verwitterung der Feldspäte entfestigt und vergrust sein. Zahlreiche kleine Gruben zur Gewinnung von Granitgrus werden in den aufgewitterten Graniten des Schluchsee-, Bärhalde- und Albtal-Gebiets zeitweise betrieben. Auch im St. Blasien-Granit gibt es einzelne kleine Granitgrusgruben. Gangförmige Granitvorkommen treten in vielen Steinbrüchen im metamorphen Grundgebirge auf (Abb. 38).

Verwendung: Die Verwendungsbereiche für gebrochene Körnungen sind überwiegend die gleichen wie beim Gneis; die Druckfestigkeiten⁴ liegen meist zwischen 170 und 200 N/mm². Bei grobkörnigen Graniten mit großen Feldspatkristallen (die weniger widerstandsfähig sind als die Quarzkörner) können Splitte aber weniger gut erzeugt werden als beim Quarzporphyr oder beim quarzitischem Gneis. Ausnahmen bilden sog. Mikrogranite oder feinkörnige Ganggranite, wie sie bei Kappelrodeck im Oberkirch-Granit, bei Baiersbronn im Orthogneis und bei Bad Rippoldsau-Schapbach im Paragneis auftreten; aus ihnen werden auch Edelsplittqualitäten und güteüberwachte Frostschutzschichten hergestellt. Generell werden aus den Graniten oft güteüberwachte Brechsande, Betonsplitte sowie

Schotter und Mineralbetonkörnungen erzeugt, daneben Schroppen und Blöcke für den Wasserbau (Flussbausteine) sowie für den Garten- und Landschaftsbau. Die in Gneisareale eingeschalteten, meist feinkörnigen Granitgänge werden i. d. R. zu hochwertigen Straßenbaustoffen verarbeitet.

Die lockeren bis halbfesten Gruse werden als Schüttmaterialien (s. o.), als Auffüllmaterial und für forstliche Wegebaumaßnahmen verwendet. Mittels einfacher Aufbereitung können aus ihnen auch hochwertige Brechsande 0/5 erzeugt werden. Beim Seebach-Granit treten durch hydrothermale Lösungen hervorgerufene Alterationen und Entfestigungen im Granit auf, weshalb dieser Granit bei Ottenhöfen-Unterwasser auch durch Brechen zu Granitsand verarbeitet wird. Diese Sande werden für Sport- und Spielplätze sowie zur Gartengestaltung eingesetzt. Rote Gruse und Brechsande aus dem Eisenbach-Granit werden – ähnlich wie die Quarzporphyre – als „Vorsatzmaterial“ für die Herstellung von Betonsteinen sowie als Pflaster- und Sportplatzsand verwendet, graue Brechsande aus dem Malsburg-Granit werden auch zu Streusanden und zusammen mit Ziegelbruch (vgl. Kap. 2.6) zu Sportplatzmischungen aufbereitet.

Viele Granitsteinbrüche sind schon seit über 100 Jahren in Betrieb. Der früher wichtigste Einsatzbereich, nämlich die Gewinnung von Werksteinen für den Brückenbau, für Straßenrandsteine und Pflaster, für Fassaden- und Bodenplatten sowie Grabsteine usw. spielt aber mengenmäßig nur noch eine untergeordnete Rolle. Für architektonische Zwecke sind naturgemäß die Granite mit großen weißen oder rosaroten Kalifeldspat-Einsprenglingen wie der Oberkirch-, Bühlertal-, Raumünzach- oder der Albtal-Granit besonders attraktiv. Aus dem Raumünzach-Granit im Nordschwarzwald und dem Albtal-Granit im Südschwarzwald werden neben Körnungen für den Verkehrswegebau auch Bodenplatten, Fensterbänke, Stufen, Pflaster, Mauersteine, Skulpturen, Grabmale, Brunnen und vielfältige Gestaltungssteine für den Gartenbau produziert.

Aus Granit lassen sich aufgrund der Regelung der Minerale sehr gut Pflastersteine herstellen (Abb. 41). Je nach Größe werden Mosaik-, Klein- und Großpflaster unterschieden. Da diese Pflastersteine weiterhin in personalintensiver Handarbeit erzeugt werden müssen, werden bedauerlicherweise auch große Mengen an Pflastersteinen aus der Volksrepublik China importiert – das „Ökokonto“ spielt bei vielen Auftraggebern noch keine Rolle.

2.4.3 Quarzporphyr

Vor bemer kungen: Die Dehnung der Kruste im Oberkarbon und Unterperm (Rotliegend) führte zur Bildung von tektonischen Gräben und Horsten. Im Rotliegenden setzte ein heftiger explosiver Vulkanismus ein. Dabei entstanden Schlot- und Gangfüllungen sowie mächtige deckenartige Extrusiva aus rhyolitischen Laven und Pyroklastiten („Rhyolithe“), die als „Quarzporphyre“ bezeichnet werden (Abb. 42 bis 45). Es handelt sich um geologisch alte, quarzreiche Vulkanite. Örtlich wurden die Pyroklastite (vulkanische Aschen und Tephra) zusammen mit dem unterlagernden metamorphen Gebirge hydrothermal verkieselt (Abb. 46). Die in Abbau stehenden Vorkommen stellen sowohl Schloten (Weinheim) und Gänge (Ottenhöfen) als auch Decken dar (Dossenheim, Schuttertal, Freiamt).

Quarzporphyre treten als massige, dichte, meist hell- bis dunkelviolette, rotviolette bis blaugraue aber auch graugrüne Gesteine auf. Im frischen Zustand zeigt das Gestein einen scharfkantigen, splittrigen, unregelmäßigen bis muscheligen Bruch. Im angewitterten Zustand besitzt es eine hellbraune bis gelbliche Farbe. Senkrecht stehende Absonderung mit unregelmäßiger Säulenbildung ist häufig, selten aber so gut ausgebildet wie bei Otten-

- ▶ **Abb. 42** Der Quarzporphyr bei Weinheim wird in einer Mächtigkeit von über 200 m abgebaut (RG 6418-1) und als hochwertiges Material für den Verkehrswegebau verkauft. Beim gezeigten Aufschluss handelt es sich um den derzeit tiefsten Steinbruch Deutschlands.
- ▶ **Abb. 43** Porphyrsteinbruch bei Ottenhöfen im Nordschwarzwald (RG 7415-3). Bei Abkühlung der kiesel-säurereichen vulkanischen Schmelze sind polygonale Säulen entstanden.
- ▶ **Abb. 44** Quarzporphyr von Ottenhöfen in typischer Ausbildung (RG 7415-3) (Bildbreite = ca. 8 cm).
- ▶ **Abb. 45** Blasenreicher Rhyolith mit vulkanischem Fließgefüge, Quarzporphyrsteinbruch bei Ottenhöfen (RG 7415-3) (Bildbreite = ca. 6,5 cm).
- ▶ **Abb. 46** Verkieselter „Porphyrtuff“ vom Heuberg bei Freiamt, bestehend aus Bruchstücken saurer vulkanischer Gesteine, die durch Quarz verkittet wurden (RG 7713-1) (Bildbreite = ca. 6 cm).

höfen (Abb. 43). Quarzporphyre bestehen i. d. R. aus einer feinkörnigen, gut verzahnten Grundmasse aus Quarz, in der größere Kristalle von Quarz und von Feldspat schwimmen.

Wichtige Vorkommen: Die größten genutzten Quarzporphyrvorkommen Baden-Württembergs liegen im südlichen, dem sog. Bergsträßer Odenwald bei Weinheim und Dossenheim (Abb. 42). Aufgrund der Nähe zur sich rasch ausdehnenden Wohnbebauung in der dicht besiedelten „Metropolregion Rhein-Neckar“ haben sich die Nutzungskonflikte mit dem seit vielen Generationen betriebenen Abbau von Quarzporphyr drastisch verschärft, so dass künftig Gewinnungsmöglichkeiten abseits der Ballungsräume gefunden werden müssen. Bei dem Quarzporphyrvorkommen von Dossenheim handelt es sich um einen Teil einer mächtigen Decke des Unteren Rotliegenden, die vom Ölberg bei Schriesheim im Norden über Dossenheim bis Heidelberg-Handschuhsheim reicht; die geologischen Vorräte dürften bei über 200 Mio. m³ liegen.

Große Vorkommen befinden sich auch bei Ottenhöfen am westlichen Rand des Nordschwarzwalds. Seit 1890 wird hier im Steinbruch „Edelfrauengrab“ ein über 200 m mächtiger, oft säulig absondender Quarzporphyr abgebaut (Abb. 43 bis 45). Aus diesem werden für den Straßen- und Bahnbau güteüberwachte Frostschutz-, Planumschutz- und Schottertragschichten erzeugt. Typisch sind die roten Edelsplitte, die z. B. im angeschlossenen Betonwerk für Betonpflastersteine weiterverarbeitet werden. Von geringerer Mächtigkeit sind die Porphyrtuffdecken bei Freiamt und Schutter-



Abb. 42



Abb. 43

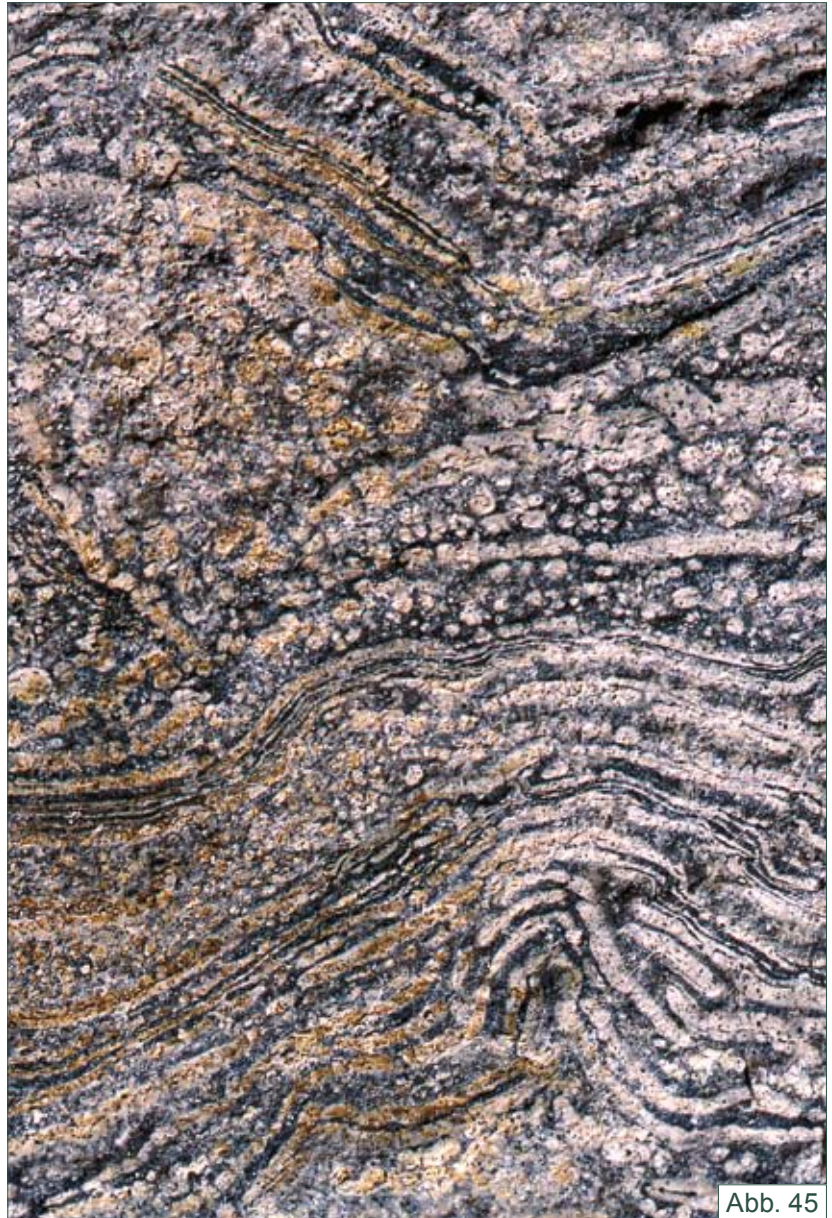


Abb. 45

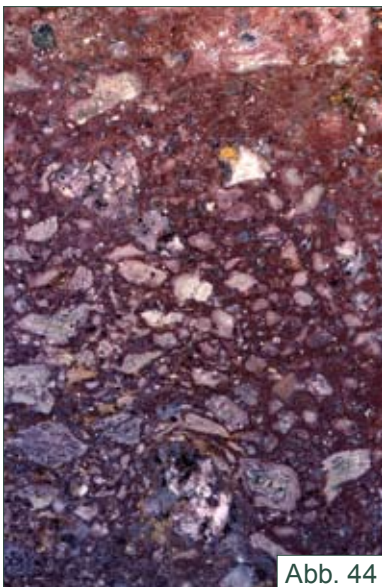


Abb. 44



Abb. 46

tal, die nach der Ablagerung der Pyroklastika intensiv hydrothermal verkieselt wurden (Abb. 46). Ein weiteres genutztes Vorkommen ist das bei Lahr-Reichenbach. Große, aktuell aber nicht genutzte Porphyrdecken sind auch im Südschwarzwald im Bereich des Münstertales verbreitet.

Verwendung: Quarzporphyre werden vor allem als Schotter und Splitte im Verkehrswegebau (ca. 80 – 90 %) und im Hochbau eingesetzt; erzeugt werden daher primär Schotter 32/45 und 32/56, Splitte 5/16, 16/21 und sog. Pflastersplitt (bis 5 mm) sowie Wasserbausteine. Wie beim Gneis lassen sich auch gut Mischungen für den sog. Mineralbeton für den Wirtschaftswegebau erzeugen. Von großer Bedeutung sind güteüberwachte Schottertragschichten in den Kornklassen 0/32 bis 0/56. Vereinzelt geht das beim Brechen erzeugte Gesteinsmehl als Zuschlag in die Steinzeug- und Ziegelherstellung oder wird als Dünger oder Bodenverbesserer eingesetzt. Gebrochenes Material mit tonig-lehmigen Anteilen wird im Waldwegebau und als Aufschüttmaterial verwendet. Aufgrund der lokal starken Wechsel in der Mineralzusammensetzung und Kornverzahnung schwankt die Druckfestigkeit in weiten Bereichen, nämlich zwischen ca. 80 und 250 N/mm². Aufbereitung durch Brechen und einfaches Klassieren reicht zumeist aus, um einheitliche und sehr widerstandsfähige Splitte und Schotter zu erzeugen.

Aufgrund der säuligen Absonderung, einer wechselhaften Schichtung mit Tufflagen und der engständigen Durchklüftung können große, kompakte Blöcke nur selten gewonnen werden, weshalb der einheimische Quarzporphyr kaum als Werksteinmaterial verwendet wird. Eine Ausnahme stellt der „Leisberg-Porphyr“ von Baden-Baden-Lichtental dar, der für kirchliche und profane Bauten verwendet wurde (GRIMM 1990).

2.4.4 Phonolith

Vorkommen: Phonolithe („Klangsteine“) gehören zu den dunklen Vulkaniten, genauer handelt es sich um während des Tertiärs im Zusammenhang mit der Entstehung des Oberrheingrabens und anderer Bruchzonen vulkanisch oder subvulkanisch gebildete, „basaltartige“ Alkaligesteine. In Baden-Württemberg treten sie im Hegau und am Kaiserstuhl auf. Wirtschaftliche Bedeutung haben die Phonolithstöcke des ca. 19 – 20 Mio. Jahre alten Kaiserstuhl-Vulkans erlangt, die bei Niederrotweil und Bötzingen auftreten und meist unregelmäßige Vulkanschlote mit einigen Hundert Metern Durchmesser ausgefüllt haben.

Verwendung: Die Steinbrüche bei Niederrotweil im Kaiserstuhl, in denen Phonolith ausschließlich für den Straßen- und Wasserbau abgebaut wurde, sind seit 1964 stillgelegt. Das sehr widerstandsfähige Gestein wurde in großen Mengen vor allem zum Bau der Rheinkanäle verwendet. Seit 1910 abgebaut wird der Phonolith am Fohberg bei Bötzingen, seit 1964 wird hier die Gewinnung und Veredlung von der Fa. H. G. Hauri Mineralstoffwerke durchgeführt (Abb. 129). Bis Ende der 1970er Jahre stand auch in diesem Bruch die Verwendung als Naturstein für den Verkehrswegebau im Vordergrund, seither ist dieser Einsatzbereich von untergeordneter Bedeutung, weil das wertvolle zeolithhaltige Gestein, dessen geologische Vorräte im Vergleich zu anderen Natursteinen des Grundgebirges gering sind, für die Erzeugung höherwertiger Produkte eingesetzt wird (Kap. 2.8.3).

2.5 Zementrohstoffe

Vorbemerkungen: Baden-Württemberg verfügt über große und hochwertige Lagerstätten von Zementrohstoffen. Sie treten in weit verbreiteten geologischen Formationen auf, weshalb es möglich ist, in unterschiedlichen Landesteilen Zementwerke zu betreiben (Abb. 137).

Als Zement wird in der Bauindustrie ein feingemahlenes, hydraulisches Bindemittel für Mörtel oder Beton bezeichnet, das im Wesentlichen aus Verbindungen von Calciumoxid (CaO) mit Siliziumdioxid (SiO₂), Aluminiumoxid (Al₂O₃) und Eisenoxid (Fe₂O₃) besteht. Von herausragender Bedeutung für die Bauindustrie ist der sog. Portlandzement (Abkürzung: PZ). Er besteht chemisch gesehen aus folgenden Hauptkomponenten: CaO 66,5%, SiO₂ 21,5%, Al₂O₃ 5,5%, Fe₂O₃ 2,5%. Die durch Brennen erzeugten Zementteilchen (Zementklinker), vorrangig Calciumsilikate und -aluminate, bilden bei Zugabe von Wasser Hydrate, die durch Gelbildung die Verfestigung des Zements bewirken. Je nach Art der gemäß DIN 1164 und DIN EN 197-1 (2001)





genormten Zemente Portlandzement CEM I und der zusammengesetzten Zemente CEM II-V (Portlandkompositzement, Hochofenzement, Puzzolan-zement, Kompositzement) sind Ausgangsgesteine, Herstellung, Zusammensetzung und Eigenschaften verschieden (KNOBLAUCH 1991, s. Kap. 3.5).

An die Zusammensetzung der Rohmehle – also der gemahlten und durch Mischung homogenisierten natürlichen Gesteinsrohstoffe – werden eine Reihe von Anforderungen hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung gestellt (Zement-Taschenbuch, HAGELAUER & WOLFF 1993). Aus verfahrenstechnischen Gründen gelten für Zementrohstoffe folgende wichtige Ausschlusskriterien:

1. Dolomitierte Kalksteine können zur Überschreitung des zulässigen MgO-Gehalts von 5 % im Klinker führen.
2. Kieselige Einlagerungen (z. B. Kieselknollen) wirken sich nachteilig auf den Brech- und Mahlvorgang aus und verändern das Brennverhalten ungünstig.
3. Bereits geringe SO_3 - und P_2O_5 -Gehalte können die Festigkeit des Zements beeinflussen (KEIL 1971).

Dies macht deutlich, dass an die Rohstoffe für moderne Bauzemente vielfältige Anforderungen gestellt werden (Kap. 3.5).

Da nur selten ausreichend Material mit ganz idealer Zusammensetzung („Naturzement“) zur Verfügung steht, müssen i. d. R. die für die Zementherstellung nötigen Komponenten Kalksteine, tonige Kalksteine bzw. Kalkmergelsteine, Tone und Sande miteinander gemischt werden. Günstige Zusammensetzung weisen die Kalkmergelsteine auf. Aufgrund der sehr großen Rohsteinfördermenge für ein modernes Zementwerk (in Baden-Württemberg zwischen 0,5

◀ **Abb. 47** Abbau von Kalksteinen und Kalkmergelsteinen der Zementmergel-Formation im Steinbruch Allmendingen (RG 7624-13). Diese Gesteine des hohen Oberjuras eignen sich aufgrund ihrer günstigen Zusammensetzung als Rohstoffe zur Erzeugung von Portlandzement.

Abb. 48 Bituminöse Tonsteine mit Kalksteinbänken, Posidonienschiefer-Formation. Diese Gesteine werden vor allem wegen ihres Energieinhalts und ihrer gleichzeitig günstigen mineralischen Zusammensetzung zur Erzeugung von Portland (ölschiefer)zement verwendet. Abbau bei Dormettingen (RG 7718-4).

und ca. >2,5 Mio. t pro Jahr je Werk) müssen diese verschiedenen Gesteine entweder gemeinsam oder in nahe beieinanderliegenden Gewinnungsstellen zur Verfügung stehen. Bei einer Änderung der chemischen Zusammensetzung der o. g. Zementrohstoffe erfolgt das Einbringen von Korrekturstoffen wie Kalk, Ton, Quarzsand und Eisenerz.

Wichtige Vorkommen: Derzeit werden in neun großen Steinbrüchen rd. 5,2 Mio. t Zementrohstoffe abgebaut (Kap. 3.5). Auf der mittleren und östlichen Schwäbischen Alb stellen tonige Kalk- und Kalkmergelsteine der Zementmergel-Formation des Oberjuras (Abb. 47) die Grundlage der Zementindustrie dar, da ihre Zusammensetzung von Natur aus etwa der des 1843 in England entwickelten künstlichen Portlandzements entspricht. Nicht zufällig steht daher im Raum Ulm die „Wiege der deutschen Zementindustrie“ (Geschichte vgl. Kap. 3.5). Ab 1864 wurde in Allmendingen erstmals in Deutschland Portlandzement produziert.

Die aufgrund ihres Öl- und Bitumengehalts als „Ölschiefer“ bekannten und traditionell auch als Energierohstoffe bezeichneten Schwarzschiefer des Unter- oder Schwarzjuras werden derzeit nur bei Dotternhausen und Dormettingen als Zementrohstoffe abgebaut (Abb. 48). Trotz ihrer vergleichsweise geringen Mächtigkeit sind sie wegen ihrer günstigen Zusammensetzung dafür gut geeignet. Der Ausbiss der Ölschiefer des Lias epsilon, auch als „Posidonienschiefer“ bekannt, erstreckt sich am Fuße der Schwäbischen Alb als Band von einigen Kilometern Breite von Schömberg im Südwesten bis Bisingen im Nordosten. Ihre Mächtigkeit beträgt insgesamt 9 – 10 m. Es handelt sich um schwarze bituminöse Mergelsteine mit Einschaltungen von Kalksteinbänken. Grundlage für die heutige wirtschaftliche Nutzung des Ölschiefers ist die thermische Verwertung der enthaltenen Kohlenwasserstoffe bei gleichzeitiger Nutzung der mineralischen Anteile, die in Form von Asche (ca. 70 %) anfallen. Die chemische Zusammensetzung liegt meist bei 25 Gew.-% SiO_2 , 9 % Al_2O_3 , 4,5 % Fe_2O_3 , 26 % CaO , 2 % MgO und 5,9 % SO_3 sowie im Mittel 9 % Kohlenwasserstoffe (Kap. 2.9.3). Höhere Bitumengehalte treten hauptsächlich im Oberen und Mittleren Posidonienschiefer auf. Zum Erreichen der für Portlandzement erforderlichen Zusammensetzung müssen Kalksteine vom nahe gelegenen Albtrauf (Abb. 49), Ton und etwas Quarzsand zugegeben werden. Für das Zementwerk Dotternhausen



◀ **Abb. 49** Mit dem gemeinsamen Abbau von Mergelsteinen der Impressamergel-Formation (im Liegenden, dunklere Farbe) und den Kalksteinen der Wohlgeschichteten Kalk-Formation werden im Steinbruch am Plettenberg (RG 7718-1) günstige Kalkrohstoffe gewonnen, die mit den Ölschiefern von Dotternhausen und Dormettingen (Abb. 48) zu Portlandzement verarbeitet werden.

▼ **Abb. 50** Kalksteine des Oberen Muschelkalks werden zusammen mit lehmefüllten Karstschloten als Zementrohstoffe gewonnen. Steinbruch Walzbachtal-Wössingen (RG 6917-1).

(früher Portlandzementwerk Dotternhausen Rudolf Rohrbach KG, jetzt HOLCIM) wurden z. B. 1999 rd. 360 000 t Posidonienschiefer, 50 000 t Opalinuston sowie 650 000 t Kalkstein abgebaut (HILGER 2000).

Als Rohstoffbasis für große Zementwerke dienen ferner Schichtgesteine, die aus einer Wechsella-

gerung von Kalksteinen und Mergelsteinen bestehen, wie die Oxford-Kalke (Wohlgeschichtete Kalk-Formation, Abb. 49) und der Untere und Obere Muschelkalk im Gebiet des Oberrheingrabens und des Neckars mit seinen Nebenflüssen. Der i. d. R. zu hohe Kalkgehalt dieser Formationen erfordert die Zugabe von Tonen oder Lehmen. Günstig erweisen





Abb. 51 Zementwerk bei Wössingen: Rohstoffgewinnung und -verarbeitung erfolgen in unmittelbarer Nachbarschaft.

sich daher solche geologischen Situationen, wo die Gesteine des Muschelkalks von Löss und Lösslehm überdeckt sind und zudem lehmgefüllte Karstschloten enthalten, wie z. B. im Walzbachtal bei Wössingen (Abb. 50 und 51). Die Zementwerke bei Heidelberg und Leimen, die mergelige Kalksteine des Unteren und Oberen Muschelkalks abbauen, wurden 1873 und 1876 gegründet – Ausgangspunkte eines der weltgrößten Unternehmen auf dem Zementsektor.

V e r w e n d u n g : Zementrohstoffe werden – wie der Rohstoffbegriff bereits verdeutlicht – für die Erzeugung von Zementen, genauer von Bauzementen verwendet. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts konnten als Brennstoffe oftmals nur Holz und Torf eingesetzt werden, mit denen Brenntemperaturen bis ca. 1000 °C zu erreichen waren. Eine vollständige Sinterung des Rohmehls trat dabei nicht ein, da diese erst im Temperaturintervall von 1400 – 1450 °C erfolgt. Im Raum Ulm wurde bis 1864 daher nur sog. Roman-Zement (Romankalk, Schwarzkalk) produziert. Dies ist ein hochhydraulischer Kalk mit hohem Anteil an Calciumaluminaten, bei dem ein Teil des gebrannten Kalks noch mit Wasser ablöscht und der zuerst an der Luft und dann später hydraulisch abbindet. Mit den

heutigen Brennstoffen ist es möglich, die benötigten hohen Temperaturen zu erzeugen und somit Portlandzemente herzustellen. Portlandzemente und Portland-Kompositzemente (s. Vorbemerkungen) stellen Bindemittel dar, die zusammen mit Zusatzstoffen und Zusatzmitteln unter Verwendung von Wasser zu Betonen mit unterschiedlichen Einsatzbereichen sowie zu Mörteln und Estrichen⁵ verarbeitet werden.

2.6 Ziegeleirohstoffe (Grobkeramische Rohstoffe)

V o r b e m e r k u n g e n : In Baden-Württemberg werden keramische Rohstoffe traditionell als Ziegeleirohstoffe bezeichnet, weil aus den im Südwesten auftretenden Tonen, aufgewitterten Ton- und Mergelsteinen und Lehmen (Abb. 6) nur grobkeramische Erzeugnisse, also Ziegel, hergestellt werden können. Tone und Lehme gehören zu den mineralischen Rohstoffen mit einer langen Nutzungstradition. Schon in der Jungsteinzeit stellte man aus ihnen kunstvolle Gefäße her. Die erste industrielle Produktion in Ziegelhütten geht in Südwestdeutschland auf die Römer zurück (s. Textkasten S. 40).

⁵ Die zahlreichen unterschiedlichen Beton-, Mörtel- und Estricharten sind ausführlich beschrieben in den fortlaufend aktualisierten Standardwerken Zement-Taschenbuch des Vereins Deutscher Zementwerke sowie im Lehrbuch Baustoffkenntnis von W. SCHOLZ (Werner-Verlag, Düsseldorf).

Geschichte:

Vom ersten Bauboom in Südwestdeutschland

Für den ersten Bauboom – und damit auch die erste große Abbauphase von heimischen Gesteinsrohstoffen – sorgte das Imperium Romanum. Die römischen Bauherren benötigten vor allem im 2. und 3. Jahrhundert n. Chr. für die Erschließung des besetzten Landes östlich und westlich des Rheins mit Straßen und der Anlage von zahlreichen militärischen und zivilen Bauwerken große Mengen an verschiedenartigen Gesteinen. Die Römer, die ihrerseits viel von den Griechen und Etruskern übernommen hatten, erweiterten das Wissen auf dem Bausektor in großem Umfang. Die damals ansässige Bevölkerung war über das Bauen mit Holz und Lehm nicht hinausgekommen – Mörtel und Beton waren ihr unbekannt. Es wundert daher nicht, dass Begriffe wie Kalk, Kamin, Keller, Mauer, Mörtel, Zement und Ziegel auf das Lateinische zurückgehen.

Für die Steinbearbeitung standen damals Hämmer, Meißel, Keile und Sägen aus Stahl zur Verfügung, und endlose Seilschlaufen wurden eingesetzt, die mittels Quarzsand oder Stahlkugeln auch harte Gesteine zu trennen vermochten. Bei Massenrohstoffen für Straßen- und Hochbauprojekte spielte – damals wie heute – vor allem die Transportentfernung eine große Rolle, während seltene und begehrte Gesteine für repräsentative Zwecke aus fernen Ländern, bis aus Kleinasien, herantransportiert wurden. Bei fortschreitender Kenntnis des natürlichen Angebots in der Umgebung von Bauzentren wurden nahe liegende Lagerstätten den zuerst bekannten, aber weiter entfernten vorgezogen.

Als wichtigste der in der Römerzeit genutzten Natursteine und natürlichen Mineralgemenge aus einheimischen Lagerstätten sind zu nennen:

- **Rötliche und gelbliche Sandsteine:** Besonders beliebt waren die rotfarbigen, meist mittel- bis grobkörnigen Sandsteine des Buntsandsteins und die gelblichen Fein- und Mittelsandsteine der Schilfsandstein-Formation sowie die fast weißen, grobkörnigen Sandsteine der Stubensandstein-

(Mitteljura) und des höheren Weiß- oder Oberjuras der Schwäbischen Alb.

- **Platten- und Bankkalk** des Tertiärs (vor allem im Oberrheingebiet).
- **Kalkoolithe und Schillkalksteine** des Oberjuras (Brenztaltrümmersoolith von der Ostalb bei Heidenheim und Rauracien-Korallenkalk und -oolith aus dem südlichen Oberrheingraben und der Nordschweiz zwischen Istein und Dittingen).



Aus Tonziegeln gemauertes Hypocaustum im sog. Soldatenbad in Baden-Baden.

Formation, aber auch viele andere Sandsteinvorkommen wurden genutzt (z. B. Tertiär-Sandsteine, Lettenkeuper-Sandsteine, Angulaten-sandsteine des Unterjuras, Arkose-sandsteine aus dem Rotliegenden).

- **Gebankte und massive Kalksteine** vor allem des Hauptmuschelkalks (Trias), Hauptrogensteins

- **Sinterkalksteine** des Tertiärs und des Quartärs (Travertine, Süßwasserkalksteine und Quelltuffe wie z. B. die holozänen Kalktuffsteine aus Dalkingen, Ostalb).

Eine Recherche anlässlich der Großen Landesausstellung 2005 „Imperium Romanum“ ergab, dass zahl-



reiche weitere mineralische Rohstoffe genutzt wurden: Grundgebirgsgesteine wie Gneise, Granite, Diorite, Quarzporphyre und Amphibolite in Form wenig oder nicht bearbeiteter Feldsteine für den Mauerbau (z. B. im Soldatenbad Baden-Baden), aber auch für großformatige Monolithe (Säulen, Altäre) und als Mahlsteine, Gangquarze für die Glasproduktion, in Badenweiler auch für druckfest drainierende Fundamente verwendet, vulkanische Gesteine aus dem Kaiserstuhl als Baustoffe und Flussmittel für die Glasproduktion, Gangminerale wie Baryt, Fluorit, Quarz, Hämatit, Sulfiderze für vielfältige Spezialzwecke: Putze, Magerung für Mörtel, Farbstoffe, Zuschlagstoffe, Metallproduktion usw.

Unterschieden nach Fest- und Lockergesteinen lassen sich die nachfolgenden Haupteinsatzbereiche nennen:



Wandmosaik in der römischen Stadt Augusta Raurica (Kaiseraugst), bestehend aus verschiedenfarbigen Karbonatgesteinen vom Hochrhein.

Festgesteine

1. Haus- und Festungsmauerbau (Quadersteine und Hinterfüllmaterial aus gebrochenen Gesteinen).
2. Fundamentierung (gebrochene Festgesteine und Fundamentmuerung).
3. Brunnen, Wasserzuleitungen, Drainagen und Heizungsanlagen (Quadersteine, Bogensteine, Rinnen und Platten).
4. Gesimse, Treppenstufen, Balkenwiderlager, Schwellen, Fensterrahmen, Eckpfeiler, Bodenplatten, Hypocaustpfeiler usw. (generell als widerstands- und tragfähige Bauelemente).
5. Straßen- und Wegebau mit Fundamentierung sowie Entwässerungseinrichtungen (Packlage, Rollierung, Betondecken mit Kalksteinsplitt, Pflastersteine, Platten).
6. Pfeiler- und Brückenbau, Grenz-, Meilen- und Grabsteine (großformatige Werksteine mit hoher Verbandsfestigkeit).
7. Plastiken, Wandornamente, Säulen, Weihesteine, Altäre, aber auch Einrichtungsgegenstände wie Tische (hochwertige, gut zu bearbeitende Ornamentsteine, meist Marmore, nicht splittrig brechende Kalksteine und Feinsandsteine).
8. Mosaiken, Boden- und Wandvertäfelungen (opus sectile) sowie Gebrauchsgegenstände wie Schminkplättchen (gut polierfähige, optisch attraktive Gesteine).
9. Gegenstände des alltäglichen Gebrauchs wie z. B. Mahlsteine, Mörsler und Gewichte (widerstandsfähige Gesteine wie verkieselte Sandsteine und Porphyre).
10. Rohstoffe für die Baustoffproduktion (Zemente, Mörtel, Estriche, Putze) und für Anstriche (vor allem Kalkstein, gebrannter Kalk, rote und braune Eisenerze).
11. Rohstoffe für die Glasproduktion (Quarz, Vulkanitmehle als Flussmittel, Blei und andere Metalle).

Lockergesteine

1. Fundamente von Bauwerken, Fundamente und Tragschichten für Straßen und Plätze, Unterfütterung von Feuerstellen und Öfen (Sande, Kiese).
2. Dammschüttmaterialien (Kiese, Sande).
3. Ziegel und andere Baustoffe (Tone, Lehme).
4. Zuschlagstoffe für Mörtel und keramische Produkte (Sande).
5. Bettungssstoffe z. B. für den Straßenbau und Abdichtmassen z. B. für Ofenanlagen (Lehme).

Einige Anwendungen sind aus der Mode gekommen, die meisten sind aber nach zweitausend Jahren unverändert aktuell.

Die meisten römerzeitlich gewonnenen und bearbeiteten Festgesteine sind heute nicht in archäologischen Ausgrabungen oder Museen sondern in „recycelter“ Form in mittelalterlichen und neuzeitlichen Festungs- oder Kirchenmauern zu finden.

Keramische Rohstoffe bestehen aus einem Gemenge von verschiedenen Tonmineralen und anderen Mineralen, besonders Quarz und Karbonaten. Wegen ihres hohen Gehalts an sog. Flussmitteln (Alkalien, Eisenverbindungen, Kalk) beginnen Ziegelton und Ziegellehme bereits bei 950 – 1200 °C zu schmelzen.

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen fein- und grobkeramischen Rohstoffen. Feinkeramische Rohstoffe wie Kaoline und Bentonite sind in Baden-Württemberg bisher nicht in wirtschaftlicher Konzentration nachgewiesen worden (vgl. aber Kap. 2.10). Der Mangel an Kaolinerden (Weißerden), die aus dem oberflächennahen Zersatz von Feldspäten magmatischer Gesteine unter humiden Klimabedingungen hervorgegangen sind, hängt mit der geologischen Entwicklung Südwestdeutschlands zusammen: Die starke Hebung der Kruste seit dem Alttertiär, die in die Entwicklung des Oberrheingrabens und des höchsten deutschen Mittelgebirges, dem Schwarzwald, mündete, brachte eine starke Erosion mit sich, so dass die zahlreichen großen, feldspatreichen Granitkörper nirgends ausreichend tiefgründig zersetzt und kaolinisiert werden konnten. Bentonit tritt in speziellen sauren vulkanischen Aschen auf, die bevorzugt im südbayerischen Raum zur Ablagerung gekommen sind.

Vorkommen: In Südwestdeutschland treten sehr zahlreiche Vorkommen von Ziegeleirohstoffen auf, die früher in vielen Hundert Tongruben und angeschlossenen Ziegeleien genutzt wurden. Aufgrund der weiten Verbreitung von Tonen und Lehmen hatte i. d. R. jeder größere Ort im Land seine eigene Ziegelei. Heute sind noch 37 Gruben in Betrieb oder aktuell in Herrichtung, die zumeist im engeren Umfeld von großen Ziegelwerken liegen, durch welche Baden-Württemberg und die Nachbarländer beliefert werden.

In erdgeschichtlicher Reihenfolge (von „jung zu alt“) lassen sich in Südwestdeutschland auftretende Formationen mit Ziegeleirohstoffen wie folgt gliedern:

- Lösslehme des Quartärs
- Beckentone des Pleistozäns
- Tone der Süßwassermolasse
- Ton- und Mergelsteine des Oligozäns
- Opalinuston des Braun- oder Mitteljuras
- Unterjura-Tone (Obtususton-Formation)
- Tonige Mergelsteine des Mittelkeupers
- Tonsteine des Unterkeupers
- Ton- und Mergelsteine des Unteren Muschelkalks
- Tonsteine des Oberen Buntsandsteins und des Oberrotliegenden.

Beispiele

Die Variabilität innerhalb der grobkeramischen Rohstoffe ist groß, so dass hier nur einige typische Beispiele vorgestellt werden sollen. Von den aktuell 34 betriebenen Ton- und Lehmgruben liegen 40 % in Lösslehmablagerungen, von großer Bedeutung sind auch die Feinsedimente der Süßwassermolasse und die Tonsteine der Opalinuston-Formation, seltener werden aufgewitterte Tonsteine des Rotliegenden, des Röt (Oberer Buntsandstein), des Unterjuras und des Keupers genutzt (Abb. 52 bis 56). Einige Gruben bauen auch Verwitterungslehme über Moränenablagerungen oder pleistozäne Beckentone ab.



Abb. 52 In der Tongrube Heidersbach (RG 6521-4) werden Röttone als Ziegeleirohstoffe gewonnen.

Lösslehm

Dieses im Quartär gebildete Lockersediment überlagert die älteren Gesteine des Landes in großen Arealen (Abb. 53). Die „Decklehme“ sind meist einige Dezimeter bis Meter mächtig. Sie gehen aus dem eiszeitlich eingewehten Löss hervor, der in besonderen morphologischen Situationen auch mehrere 10er Meter mächtig werden kann. Der Löss wurde bei den Vergletscherungen des Quartärs unter hochglazialen Klimaverhältnissen (tro-



Abb. 53 Zur Herstellung grobkeramischer Produkte werden in der Tongrube Buchen-Hainstadt (RG 6422-2) Lösslehm und Röttone gemeinsam abgebaut.



cken und kalt) als äolisches, d. h. durch Wind transportiertes Sediment im nicht vom Gletschereis bedeckten Vorland der Alpen abgelagert. Durch Umlagerungen an Hängen entstand Schwemmlöss, der aufgrund seiner inhomogenen Beschaffenheit und wegen des Auftretens von Gesteinsgeröllen für die Ziegelindustrie i. d. R. nicht geeignet ist.

Tertiärzeitliche Tone

Tone der Unteren und Oberen Süßwassermolasse werden in Oberschwaben in vielen Gruben genutzt. Im Gegensatz zum recht einheitlich aufgebauten Lösslehm zeigen diese tertiärzeitlichen Feinsedimente rasche Materialwechsel und somit schnelle Veränderungen in der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung und Kornverteilung. Die Sedimente der Süßwassermolasse bestehen aus einer abwechslungsreichen Folge von bunten, meist feinsandigen, glimmerreichen Tonen und Mergeln, in die Lagen aus graugelbem bis grünem Feinsand und kalkige Sandsteinbänke eingeschaltet sind. Der Karbonatgehalt schwankt in weiten Grenzen bis max. 40%, in der Aufwitterungszone liegt er oft bei ca. 5% (SZENKLER & WERNER 2000). Die für die Ziegelherstellung gesuchte Rohmischung mit günstiger chemisch-mineralogischer Zusammensetzung und geeigneter Kornverteilung wird erst durch den gemeinsamen Abbau von Tonen, Schluffen und Sanden der Süßwassermolasse erzeugt. Für Vollziegel kann meist eine günstige Rohmischung durch hangschürfenden Abbau erzielt werden. Für Hochlochziegel, bei denen die Materialanforderungen höher sind, ist oft ein selektiver Abbau erforderlich.

Tertiärzeitliche Tone wurden und werden auch im Oberrheingraben in oftmals ausgedehnten und traditionsreichen Gruben abgebaut. Die großen Ziegelwerke bei Malsch und Rauenberg z. B. nutzen dunkelgraue Tone, Tonsteine und Tonmergelsteine des Alttertiärs (oligozäne Fischschiefer, Pechelbronner- und Lymnäenmergel-Formation), die unter marinen Bedingungen in schmalen, durch Schwellen geschützten Becken zur Ablagerung kamen. In den Gruben werden 5–25 m mächtige Rohstofflager zur Erzeugung von Dach- und Mauerziegeln sowie von Töpferware abgebaut.

Opalinuston

Im Vorland der Schwäbischen Alb streicht die bis zu 130 m mächtige Opalinuston-Formation großflächig aus. Es handelt sich um monotone Tonsteine und Tonmergelsteine (Abb. 55), die im stratigraphisch höheren Teil eine Zunahme des Sand- und Kalkgehalts aufweisen. Im Allgemeinen ist nur der mittlere

Teil der Opalinuston-Formation, der aus etwa 90 m mächtigem Tonstein mit einem Kalkgehalt von ca. 4–10% besteht und nur wenig Feinsand führt, gut als Ziegeleirohstoff nutzbar. Die oberen 5–6 m des oberflächennah ausstreichenden Tonsteins sind durch Verwitterung zu Ton bzw. Lehm entfestigt, werden daher separat abgebaut und im geforderten Verhältnis mit dem zerkleinerten und nach mehrjähriger Aufwitterung aufgewitterten Tonstein gemischt. Aufgrund ihrer homogenen Beschaffenheit und großen Mächtigkeit werden die Tonsteine der Opalinuston-Formation auch als Zuschlagstoff bei der Portlandzementherstellung verwendet.

Es wurden im Auftrag des LGRB mineralogische und keramotechnische Studien an zahlreichen großen Mischproben aus Kernbohrungen und Tongruben in der Opalinuston-Formation zwischen Geisingen und Aalen durchgeführt (Zusammenstellung in der KMR 50 Geislingen a. d. Steige, WAGENPLAST & WERNER 2001). Die Analysen zeigen, dass es sich um einen mageren keramischen Rohstoff handelt, dessen Zusammensetzung einen Einsatz für grobkeramische Zwecke gut ermöglicht, für feinkeramische Produkte aber ausschließt. Neben glasiger Substanz konnte in den Scherben Quarz, Feldspat, Melilith, Klinopyroxen, Mullit und wenig Anhydrit festgestellt werden; als färbendes Pigment tritt Hämatit auf, wodurch die Scherben eine ziegelrote Färbung aufweisen. Beim keramischen Brand bei 1050 °C beträgt die Brennschwindigkeit nur zwischen 4 und 7%. Die entstandenen Scherben sind relativ dicht (1,8–2,1 g/cm³) und wenig porös.

Tonsteine der Obtususton-Formation

Von den Schichten des Juras steht im Grenzbereich der Regionen Mittlerer Oberrhein und Rhein-Neckar das stratigraphische Intervall zwischen Unterjura (Lias) und Mitteljura (Dogger) oberflächennah an. Aufgrund geringer Überdeckung sind diese Sedimente im Bereich Rettigheim–Östringen im Tagebau gut zu gewinnen (Abb. 56). Dies ist allerdings nur im eng begrenzten Gebiet einer tektonischen Hochscholle am Oberrheingrabenrand möglich. Derzeit werden sie noch in zwei Tongruben, nämlich bei Mühlhausen-Rettigheim und bei Tuningen, in Mächtigkeiten zwischen 5 und 40 m abgebaut. Bei Erzingen, südlich von Stühlingen, wird Obtususton zeitweise abgebaut.

Während in Rettigheim aus den Tonsteinen hauptsächlich grobkeramische Produkte (z. B. hochwärmedämmende Mauerziegel) hergestellt werden, werden in Tuningen die Tonsteine der Obtususton-Formation mit Tonsteinen der Opalinuston-Formation im Verhältnis 1 : 3 gemischt und zur Produktion von Blähtonen genutzt. Das Rohmaterial wird hierfür gemischt, gemahlen, zu kleinen Kugeln granuliert und bei > 1200 °C im Drehrohren gebrannt. Dabei entweichen die organischen Be-

standteile und der Ton bläht sich auf. Es entstehen feinporige, feste und gleichzeitig leichte Tonkugeln mit luftdurchsetztem Kern und hoher Druckfestigkeit. Dieses als „Liapor“ bezeichnete Material ist hochwärmedämmend und gleichzeitig wärmespeichernd und wird in Form von losen Schüttungen als Dämmmaterial für Dächer, Böden und Decken, zur Isolierung von Rohren und Kanälen oder auch als Zuschlagstoff zur Herstellung von „Liapor-Beton“ verwendet. Weitere Anwendungsbereiche für die Blähton-Kugeln sind Hydrokulturen oder in gebrochener Form auch Winterstreu. Bei der Abwasser-Biofiltration bilden Tonkugelchen durch ihre große spezifische Oberfläche einen idealen Besiedlungsuntergrund für Mikroorganismen und werden unter dem Markennamen „Liaperl“ vertrieben.

Keuper-Tone

Die Ablagerungen des Keupers bestehen zum großen Teil aus Tonsteinen, in die verschiedene Sandsteine, im unteren Mittelkeuper auch Sulfatgesteine (Kap. 2.8.2) eingeschaltet sind. Die lehmigen Böden

Verwendung: Der Begriff „Ziegeleirohstoffe“ für die in Baden-Württemberg abgebauten grobkörnigen Rohstoffe zeigt bereits, dass die tonigmergeligen Sedimente der o. g. Formationen überwiegend für die Herstellung von Ziegeln genutzt werden. Mindestqualitätsanforderung ist dabei, dass Hintermauerziegel, also Ziegel für die Ausführung von verputztem und verblendetem Mauerwerk, hergestellt werden können; der Nachweis der Frostbeständigkeit ist hierbei nicht erforderlich. Generelle Richtwerte sind den Zusammenstellungen von LORENZ & GWOSDZ (1997) und SCHMIDT (1973) zu entnehmen. Störende Beimengungen im Rohstoff für Dachziegel- und Mauerziegelmassen sind Gips, grobkörnige Karbonate, Pyrit, hohe Anteile von Quarz, Feldspat, grobem Glimmer, Montmorillonit und wasserlösliche Salze (<0,5 M.-%), da diese zu Ausblühungen, Rissen oder Abplatzungen im gebrannten Ziegel führen. Gleichmäßig verteilte, sehr feinkörnige Kalkanteile sind jedoch erwünscht, da sie sich auf die Festigkeit der Ziegel positiv auswirken.



Abb. 54 Keuper-Tone in der Tongrube Maulbronn-Zaisersweiher (RG 7019-5).

im Verbreitungsgebiet des Keupers haben ihm seinen Namen gegeben (mit „Kipper“ oder „Keuper“ werden in Franken weiche, bröckelig zerfallende Schichten bezeichnet). Keuper-Tone (Abb. 54) alleine sind i. d. R. zu „fett“, enthalten also für keramotechnische Zwecke einen zu hohen Ton- und zu geringen Kalk- und Quarzanteil. Sie werden daher dort abgebaut, wo sie von Löss überlagert sind oder wo Löss von nahegelegenen Vorkommen zugemischt werden kann.

Ziegeltonen und -lehme sollten ausreichende Plastizität, geringe Trocken- und Brennschwindung und ein langes Sinterintervall haben. Eine gleichmäßige, möglichst reine Farbe des Scherbens ist erwünscht. Dachziegel und Klinker müssen frost- und verwitterungsbeständig sein, was oft einer niedrigen Porosität, also einer geringen Wasseraufnahmekapazität des Scherbens entspricht. Die gebrannten Ziegelsteine sollen eine möglichst hohe Wärmedäm-



mung, geringes Gewicht, zugleich aber auch ausreichende Druck- und Scherfestigkeit aufweisen. Diese hohen Ansprüche können nur durch hochqualitative Rohstoffe, gute Homogenisierung sowie ständige Material- und Produktionskontrolle erreicht werden (Kap. 3.6). Für den Verkauf spielt auch die Farbe eine große Rolle. Hohe Kalkgehalte führen zu gelblichen Ziegelfarben, hohe Eisenoxidgehalte zu roten.



Abb. 55 Ton als Zuschlagstoff: Tonsteine der Opalinuston-Formation werden in der Tongrube Schömberg (RG 7818-3) im Zollernalbkreis abgebaut und für die Portlandzementherstellung ins Zementwerk Dotternhausen transportiert.

Keramische Rohstoffe werden heute generell verwendet für:

- Grobkeramische Produkte (z. B. Hintermauerziegel, Vormauerziegel, Dämmziegel/Leichtziegel, Schallschutzziegel, Dach- und Deckenziegel, Klinker, Töpferware und Gärtnerartikel)
- Feinkeramische Produkte (z. B. Porzellan und Steingut)
- Feuerfeste Produkte (z. B. Feuerfeststeine, Schamotte)
- Hochfeuerfestprodukte
- Dichtungstone (z. B. Deponieabdeckungen)
- Bindeton von Gießereisanden
- Leichtbetonzuschläge, Blähtone
- Reinigungsmittel (Kaolin, Bentonite)
- Pharmazeutische Produkte (Kaolin, Bentonite)
- Chemische Industrie (Kaolin, Bentonite).

Aufgrund des Mangels an kaolin- und bentonitreichen Ablagerungen in Südwestdeutschland werden Feinkeramik und die drei zuletzt genannten Produkte nicht aus heimischem Material erzeugt.



Abb. 56 Schwarzer Tonstein der Obtususton-Formation (Unterjura), Tongrube Mühlhausen-Rettigheim (RG 6718-1).

2.7 Naturwerksteine

2.7.1 Übersicht

Unter Naturwerkstein versteht man ein Gestein, also ein natürliches festes Mineralgemenge, das aufgrund seiner Beschaffenheit geeignet ist, von einem Steinmetz oder Bildhauer zu Werk- oder Ornamentsteinen bearbeitet zu werden. Aus einem Naturwerksteinvorkommen müssen die nötigen Gesteinsblöcke in den erforderlichen Dimensionen, der sog. Rohblockgröße, geliefert werden können, welche zugleich hinsichtlich Festigkeit (Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit, Abriebfestigkeit), Bearbeitbarkeit, Verwitterungsbeständigkeit (Frostbeständigkeit, Beständigkeit gegen chemische Lösungen) und aufgrund ihrer architektonischen Attraktivität alle Voraussetzungen besitzen, um in oder an einem Bauwerk Verwendung finden zu können. Werkstücke mit regelmäßigen Abmessungen wie Mauerquader, Platten und Gesimse werden als Werksteine, solche mit dekorativen, künstlerischen Formen als Ornamentsteine bezeichnet. Naturwerksteine zählen zur großen Gruppe der Natursteine (im Gegensatz zu Kunststein wie z. B. Terrazzo oder Betonstein).

Vorkommen: Aufgrund der geologischen Vielfalt in Südwestdeutschland treten zahlreiche ganz unterschiedliche Naturwerksteine auf, die seit vielen Jahrhunderten für Bauzwecke oder als Ornamentsteine genutzt werden. Für repräsentative Bauten wie Kirchen, Klöster, Schlösser und Residenzen wurden vor allem folgende Gesteine verwendet:

1. Rote und gelbe Sandsteine des Buntsandsteins (Lahr-Kuhbach, Freudenstadt, Neckartal bei Eberbach), Verwendung vor allem in den Freiburger, Basler und Straßburger Münsterbauten



Abb. 57 Sandsteine des Buntsandsteins werden im Steinbruch bei Lahr-Kuhbach (RG 7613-3) gewonnen. Mit dem roten, gleichkörnigen Sandstein werden umfangreiche Sanierungsmaßnahmen an historischen Bauwerken wie dem Freiburger oder Basler Münster durchgeführt.

sowie zahlreichen Kirchen, Burgen und Schlössern am Oberrhein und im Nordschwarzwald (Abb. 57 und 58).

2. Quaderkalk (Krensheim, Abb. 33 und 59) und Crailsheimer Muschelkalk (Satteldorf), Oberer Muschelkalk.
3. Gelblicher, feinkörniger Lettenkeuper-Sandstein (Ilfeld, Mundelsheim, Rieden und Neuenstein bei Schwäbisch Hall, Freudenbach bei Greglingen) (Abb. 60).
4. Grau-gelblicher, z. T. auch gelb-rot geflammter oder braun geadelter Schilfsandstein (derzeit besonders nahe Sinsheim, Schwaigern, Heilbronn, Maulbronn, Eppingen, Pfaffenhofen und Besigheim in Abbau; berühmt durch das zum Weltkulturerbe erhobene Kloster Maulbronn) (Abb. 61 bis 64).
5. Mittel- bis grobkörniger, gelblich-weißer Stubensandstein (Pliezhausen, Schlaitdorf, Dettenhausen, Murrhardt. Wichtige Bauwerke: Marienkirche Reutlingen, Stiftskirche Tübingen, Ulmer Münster, Empfangs- und Ausgangshalle des neuen Stuttgarter Hauptbahnhofs, Kölner Dom, Schloss Neuschwanstein,

- Neues Rathaus in Stuttgart, Neckarbrücken in Horb, Tübingen und Plochingen) (Abb. 7).
6. Gelblicher bis brauner Eisensandstein des Braunjuras, sog. Donzdorfer Sandstein. Wichtige Abbaustandorte: Westhausen und Westerhofen bei Bopfingen, Donzdorf, Weilheim u. T., herausragende Bauwerke: Ulmer Münster, Burgen Stauffeneck und Hohenrechberg (Abb. 65 und 66).
7. Verwitterungsbeständige Sauer-/Süßwasserkalksteine und Kalksinter: Cannstatter Travertin, Gauinger bzw. Zwiefalter Travertin des Miozäns, Sinterkalk des Holozäns (Abb. 67 bis 69).
8. Vulkanisches Gestein des Kaiserstuhls: Tephrit (Breisacher Münster, Kirchen im Kaiserstuhl) (Abb. 72 und 73).

Als weitere Naturwerksteinvorkommen sind die im Raum Tübingen abgebauten Rhätsandsteine, die vor allem bei Holzmaden gewonnenen, als „Fleins“ benannten Kalksteinbänke im Posidonienschiefer und der durch Riesmeteoriten vor rd. 15 Mio. Jahren entstandene Suevit bei Nördlingen zu nennen.

Verwendung: Die Verwendungsvielfalt für Naturwerksteine ist beeindruckend. Generell werden als Haupteinsatzbereiche für Naturwerksteine unterschieden:

- Massivbauten und Mauerwerk
- Grabmale und Denkmale ohne bildhauerischen Einsatz
- figürliche Arbeiten und Plastiken
- senkrecht angeordnete Platten für Fassaden und sonstige Wandverkleidungen
- waagrecht angeordnete Platten für Bodenbeläge, Pflaster und Treppen im Gartenbau
- Platten für die Innenarchitektur
- technische Steinkörper wie Säurebottiche und Ausgussanlagen
- Gesteine für Kleinkunst und Kunstgewerbe
- Gesteine für Restaurierung historischer Gebäude und Steinmetzarbeiten.

Beispiele für bedeutende Bauwerke des Landes, für die große Mengen an Naturwerksteinen benötigt wurden und werden, sind in den Abb. 58, 63, 65, 70 und 71 gezeigt.

Aufgrund der derzeit geringen privaten Nachfrage nach heimischen Naturwerksteinen und dem riesigen Angebot an exotischen, preislich oft günstigeren Werksteinen aus aller Welt wurden in den vergangenen Jahrzehnten bedauerlicherweise viele Werksteinbrüche stillgelegt. Sowohl zur Restaurierung unserer zahlreichen Baudenkmäler als auch für architektonisch anspruchsvollere Neubauten



steht deshalb oft kein dem Bauwerk optisch und gesteinsphysikalisch angemessenes Material zur Verfügung. Teuere chemische Konservierungsmaßnahmen erbrachten selten den gewünschten Erfolg. Optisch ähnliches Material aus dem europäischen Ausland war zwar zunächst deutlich billiger zu erwerben, erwies sich jedoch oft als wenig verwitterungsbeständig. Manche Denkmalgesteine, wie der „Tuffstein“ des Breisacher Münsters, werden aber selbst im fernen Ausland nicht abgebaut und können daher nur aus heimischen Vorkommen gewonnen werden (Abb. 72 und 73).

2.7.2 Sandsteine

Wie die nachfolgende Aufstellung zeigt, existieren in Baden-Württemberg zahlreiche Formationen mit Sandsteinen, in denen werksteintaugliche Horizonte auftreten. Dieses große Potenzial wurde in den letzten Jahrhunderten in einer Vielzahl von Steinbrüchen genutzt. Viele bedeutende Bauwerke wurden aus heimischen, meist rötlichen oder gelblichen Sandsteinen erbaut (s. o.). In der Gewinnungsstellen-

Bauwerken eignen, zeigen, dass viele alte Brüche verfüllt oder überbaut wurden. Die ursprüngliche Gesamtzahl wird sich somit kaum ermitteln lassen, dürfte aber bei ca. 1500 liegen.

Werksandsteine werden zzt. noch in 27 Steinbrüchen gewonnen. Die bevorzugt genutzten stratigraphischen Abschnitte sind die Plattensandstein- (Oberer Buntsandstein, 9 Stbr.) und die Schilfsandstein-Formation (Mittelkeuper, 10 Stbr.), zwei Brüche bauen den Hauptsandstein der Lettenkeuper-Formation ab, jeweils ein bzw. zwei Brüche bestehen im Unteren und Mittleren Buntsandstein („Neckartäler Hartsandstein“, Bausandstein-Formation), in der Rhätkeuper-Formation („Pfrondorfer Sandstein“) und in der Stubensandstein-Formation (Mittelkeuper). Besonders dramatisch ist der Rückgang der Gewinnung im Stubensandstein, aus dem unzählige Gebäude im Heilbronner–Stuttgarter Raum errichtet wurden, vom Wohnhaus bis zum öffentlichen Großbauwerk. Besonders bei der Sanierung herausragender Kulturdenkmäler wie dem Ulmer Münster und dem Kölner Dom fällt dieses Defizit ins Gewicht.



Abb. 58 Buntsandstein am romanischen Münster in Münsterschwarzach.

Datenbank des LGRB sind bisher 1050 Sandsteinbrüche eingetragen (Abb. 155). Die laufenden Arbeiten zur Erkundung von Bausandsteinvorkommen, die sich zur Renovation von denkmalgeschützten

Werksandsteine des Buntsandsteins: Zwei wichtige Beispiele aus der in Baden-Württemberg weit verbreiteten Formation sollen hier näher betrachtet werden:

- Werksandsteine der großen Bausandstein-Formation im Unteren und Mittleren Buntsandstein. Aus diesen Sandsteinen errichtete Bauwerke sind in Abb. 58 und 71 dargestellt.
- Werksandsteine der Plattensandstein-Formation im Oberen Buntsandstein

Werksandsteine der Bausandstein-Formation werden vor allem in Lahr-Kuhbach und im Neckartal bei Eberbach im Odenwald gewonnen. Mit dem roten, gleichkörnigen Sandstein von Kuh



Abb. 59 „Quaderkalk“ des Oberen Muschelkalks mit charakteristischer Schrägschichtung. Steinbruch Grünsfeld-Krensheim (RG 6324-18).

Bausandsteine

Baden-Württembergs

(erdgeschichtliche Gliederung)

Tertiär

- Molassesandstein und Muschelsandstein (Meeresmolasse, Untermiozän)
- Pfaffenweiler-Sandstein (südlicher Oberrheingraben, oberes Eozän bis unterstes Oligozän)

Jura

- Donzdorfer Sandstein (Eisensandstein-Formation des Ober-Aaleniums)
- Angulatensandstein (Hauptsandstein der Angulatensandstein-Formation, Oberhettangium)

Keuper

- Rhätsandstein (auch Pfrondorfer Sandstein)
- Stubensandstein:
 - Unterer Stubensandstein: „Fleins“ (karbonatisch gebundener Sandstein)
 - Mittlerer Stubensandstein: „Schlaitdorfer Sandstein“
- Kieselsandstein
- Schilfsandstein
- Lettenkeuper-Hauptsandstein (Hauptsandstein der Lettenkeuper-Formation)

Buntsandstein

- Plattensandstein (Oberer Buntsandstein)
- Kristallsandstein (oberster Mittlerer Buntsandstein)
- Obere Geröllsandstein-Formation („Hauptkonglomerat“)
- Große Bausandstein-Formation inklusive Unterem und Mittlerem Geröllsandstein; umfasst die Einheiten:
 - Bausandstein s. str.
 - Unterer und Mittlerer Geröllsandstein

Perm

- Werksandstein der Tigersandstein-Formation

bach werden die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen an historischen Bauwerken wie dem Freiburger oder Basler Münster durchgeführt.

Der sog. Neckartäler Hartsandstein aus dem Raum Eberbach (in Hessen als „Odenwälder Sandstein“ bezeichnet) ist aufgrund seiner ungewöhnlich hohen Festigkeit, die auf eine kieselige Kornbindung zurückzuführen ist, sehr geschätzt. Es handelt sich um einen roten, vielfach hellgelb gebänderten, harten Fein- bis Mittelsandstein (Abb. 73) mit einzelnen tonigen Bankungsfugen und seltenen roten Tongallen; seine Druckfestigkeit liegt bei über 120 N/mm² und ist damit höher als die von Beton. Die nutzbare Mächtigkeit beträgt meist zwischen 25 und 30 m, davon werden die unteren 15 m aktuell genutzt. Aufgrund der großen Bankstärken von 0,5 – 3,5 m und der meist weitständigen Klüftung lassen sich große Rohblöcke gewinnen. An wichtigen Bauwerken sind beispielsweise das Residenzschloss Ludwigsburg, das Festspielhaus Baden-Baden, die Chorhalle des Aachener Doms, die Herz-Jesu Kirche in Freiburg, das Kloster Alpirsbach zu nennen. Heute wird der Sandstein der Bausandstein-Formation vor allem zur Gewinnung von Blöcken für die Renovation denkmalgeschützter Bauwerke und für Bildhauerarbeiten, für Brunnen, Pflanztröge und Schalen, Gartenplastiken, Garten- und Mauersteine, Bodenbeläge, Innenausstattungen und Fassadenbekleidungen genutzt. Früher diente er auch zur Fertigung von säurebeständigen Gefäßen und Trögen, Beizbottichen, Schleifsteinen, Kollergangsteinen, Wasserbau- und Pflastersteinen.

Werksandsteine der Plattensandstein-Formation werden aktuell in mehreren, meist kleineren Steinbrüchen zwischen Pforzheim und Freudenstadt gewonnen. Die weinroten bis rotviolettten Sandsteine zeichnen sich im Allgemeinen durch ihr



Abb. 60 Lettenkeuper-Sandstein im Steinbruch Fallteich (RG 6826-124) bei Crailsheim.

gleichmäßiges, feines Korn, ihren Gehalt an hellem Glimmer und ihr hauptsächlich tonig-ferritisches, selten karbonatisches Bindemittel aus. Die Druckfestigkeit der Sandsteine liegt zumeist

zwischen 80 und 90 N/mm². Mächtigere Bänke findet man hauptsächlich im oberen Drittel der 35 – 40 m mächtigen Plattensandstein-Formation, der sog. Werksteinzone des Oberen Plattensandsteins. Durch ihre leichte Bearbeitbarkeit wurden diese Sandsteine früher in zahlreichen kleinen, heute zum Großteil verfüllten und im Gelände nicht mehr erkennbaren Steinbrüchen abgebaut.

Bekannte Steinbrüche liegen im Raum Freudenstadt bei Loßburg, Pfalzgrafenweiler und Dietersweiler, bei Tiefenbronn südöstlich von Pforzheim und bei Wüstenzell (Abb. 153).

Werksandstein der Lettenkeuper-Formation: In die vorwiegend tonigen und dolomitischen Gesteine der Lettenkeuper-Formation schaltet sich im mittleren Abschnitt der Hauptsandstein ein (Abb. 8b), der die Ausfüllung von Flussrinnen eines sich von Norden nach Süden vorbauenden Deltasystems darstellt. Innerhalb der Rinnen schwankt die Bankmächtigkeit der Sandsteine kleinräumig und es können sich Schluff- und Tonsteine einschalten.



Abb. 61 Der Schilfsandstein der Gegend um Pfaffenhofen wurde schon seit römischer Zeit genutzt. Der auf dem Foto dargestellte Steinbruch Güglingen-Pfaffenhofen (RG 6919-2) ist auch heute noch in Betrieb.



Abb. 62 Überreste eines römischen Vicus bei Güglingen: Hier wurde der Schilfsandstein aus Pfaffenhofen z. B. für Gesimse und Kellerfenster verwendet.



Abb. 63 Das zum UNESCO-Weltkulturerbe erklärte Kloster Maulbronn, erbaut aus Schilfsandstein.

Derzeit wird noch in zwei Steinbrüchen in der Region Heilbronn-Franken – nämlich bei Freudenberg und bei Neuenstein – Lettenkeuper-Sandstein abgebaut. Die genutzten Mächtigkeiten liegen hier zwischen 3,5 und 10 m. Die Sandsteine werden für Grab- und Denkmale, für figürliche Arbeiten und Plastiken, als Naturwerksteine für Massivbauten und Mauerwerk sowie im Landschafts- und Gartenbau eingesetzt.

Werk sandstein der Schilfsandstein-Formation:

Die Ablagerungen der Schilfsandstein-Formation kommen in zwei unterschiedlichen, sich lateral miteinander verzahnenden Ausbildungen vor. Die Sedimente der geringmächtigen, 5 m kaum überschreitenden Normalfazies bestehen aus einem Wechsel von meist dünnbankigen bis plattigen Feinsandsteinen, Schluff- und Tonsteinen. In den Ablagerungen der bei Schwäbisch Hall bis max. 35 m mächtigen Flutfazies (WURSTER 1964) kommen dagegen häufig bis über 10 m mächtige, im unteren Teil oft dickbankige bis massige, glimmerführende, graugrüne, grünliche, grünlichrote und auch rötliche, gut sortierte, z. T. schwach mittelsandige Feinsandsteine vor, die von Sandstein-Schluffstein-Tonstein-Wechselfolgen unterschiedlicher Mächtigkeit überlagert werden. Die Werksteinvorkommen in der Schilfsandstein-Formation sind grundsätzlich an

die Bereiche der Flut- oder Rinnenfazies gebunden. Zwei Beispiele für die Nutzung dieses wichtigen Werksandsteins sollen genannt werden:

Ein bedeutendes Zentrum der Naturwerksteinindustrie Baden-Württembergs befindet sich in und um Maulbronn. Bereits im Jahr 1147 wurden dort Sandsteine der Schilfsandstein-Formation in einem ersten Steinbruch von Mönchen zur Er-



Abb. 64 Schilfsandstein in typischen Varietäten, Mauersteine am Marktplatz von Bühlertann.



Abb. 65 Am Ulmer Münster wurde der Donzdorfer Sandstein in großem Umfang verbaut. Für die erforderlichen Restaurierungsmaßnahmen müssen nun die alten Steinbrüche wieder aufgesucht und erweitert werden.

bauung des Zisterzienser-Klosters abgebaut. Die Klosterkirche und zugehörige Gebäude – heute Teil des UNESCO-Weltkulturerbes „Maulbronner Kloster“ – wurden aus gelbem und rötlich-gelbem Schilfsandstein erbaut (Abb. 63). Um das Jahr 1900 gab es im Oberamt Maulbronn bereits ca. 10 000 Steinarbeiter; allein aus den Maulbronner Brüchen wurden in den Jahren 1900 – 1905



Abb. 66 Der als „Donzdorfer Sandstein“ bezeichnete Eisen-sandstein des Mitteljuras mit charakteristischen Eisenkrusten. Alter Steinbruch am Schloss Ramsberg bei Donzdorf (Bildbreite = ca. 1 m).

durchschnittlich 6 600 t jährlich an behauenen Schilfsandstein verladen und in alle Landesteile und weit darüber hinaus verkauft (s. KNAAK 2004).

Beim Schilfsandstein aus dem Raum Rottenburg handelt es sich um einen graugrünen bis beige-braunen, glimmerhaltigen Feinsandstein mit toniger Matrix, in dem feinverteilte Pflanzenreste nicht selten sind (daher der Name). Die mineralischen Hauptkomponenten des hier als Wendelsheimer Schilfsandstein bezeichneten Werksteins sind Quarz (45%), Feldspat (30%), Chlorit und Muskovit (je 5%). Aus dem Sandstein wurden vor allem Schleifsteine hergestellt, welche an die Sensenfabriken und Messerschmieden des Schwarzwalds verkauft wurden (s. KESTEN & WERNER 2006).

Stubensandstein-Formation: Laut FRANK (1949) lieferten die hellen, fein- bis grobkörnigen Stubensandsteine sehr unterschiedliche Werksteine, wobei das Bindemittel die entscheidende Rolle spielte. Während Sandsteine mit tonigem Bindemittel sehr weich (dafür aber gut zu bearbeiten) waren, ergab eine leichte sekundäre Verkieselung ausgezeichnete Werksteine. Sandsteine mit kalkigem Bindemittel unterlagen vor allem in Stadtgebieten einer schnellen Verwitterung durch Industrieabgase. In großem Um-

fang wurde mürber Stubensandstein jedoch für andere Zwecke gewonnen (Kap. 2.2), früher vor allem für das Sauberhalten der Holzböden der Stuben in Wohn- und Wirtschaftsgebäuden – daher der Name.

Kieselsandstein: Die Ablagerungen des Kieselsandsteins der Bunte Mergel-Formation bestehen aus einer Wechselfolge von gelblichen und gelbgrauen, fein- bis grobkörnigen, z. T. fein- bis mittelkiesigen, feldspatreichen Sandsteinen sowie aus rotbraunen oder graugrünen, oft dolomitischen Tonsteinen. In Abhängigkeit vom Feldspatgehalt und akzessorischen Gesteinsbruchstücken handelt es sich um Quarzsandsteine (Quarzgehalt >85%) oder um quarzreiche Arkosesandsteine (Quarzgehalt <85%). Das Bindemittel der Sandsteine ist oft karbonatisch (dolomitisch), seltener kieselig. In Oberflächennähe sind die Sandsteine häufig zu Sand zerfallen. Die Ablagerung der Sand- und Tonsteine der Bunte Mergel-Formation erfolgte in einem Schutt- und Schwemmfächersystem, das sich zur Bildungszeit von Osten nach Westen vorbaute. Liefergebiet war das sog. Vindelizische Festland im Osten, auf dem quarz- und feldspatreiche Grundgebirgsgesteine abgetragen wurden.

Aufgrund des von Osten nach Westen gerichteten Sedimenttransports nehmen in dieser Richtung generell die durchschnittliche Korngröße der Sande ab und der Anteil an Ton- und Schluffsteinen zu. Die Sande wurden in Schwemmfächern durch sich schnell verlagernde und verschneidende Rinnen unterschiedlichster Dimension transportiert und abgelagert. Die Tonsteine wurden in den Überflutungsbereichen zwischen den Rinnen sedimentiert. Die Sand- und Tonsteine besitzen daher stark schwankende, uneinheitliche Mächtigkeiten und sind lateral miteinander verzahnt. Dieser mehrfache Gesteinswechsel und die unterschiedliche Verfestigung der Sandsteinkörper erschweren die Abgrenzung bauwürdiger Sandvorkommen – auch bei hohem Erkundungsaufwand – erheblich (Bock 2005).

Als ein Beispiel für historisch sehr bedeutende Sandsteine, die aber heute nicht mehr abgebaut werden, kann der **Molassesandstein** angeführt werden. Er wurde in zahlreichen herausragenden Bauwerken, wie z. B. dem Konstanzer Münster (Abb. 70), verbaut. Mangels passendem Gesteinsmaterial zu Restaurierungszwecken musste die notwendige Sanierung dieser Bauwerke mit – häufig wenig geeigneten und gering verwitterungsbeständigen – ausländischen Sandsteinen erfolgen. Daher besteht insbesondere beim Molassesandstein ein ausgeprägter Explorationsbedarf.

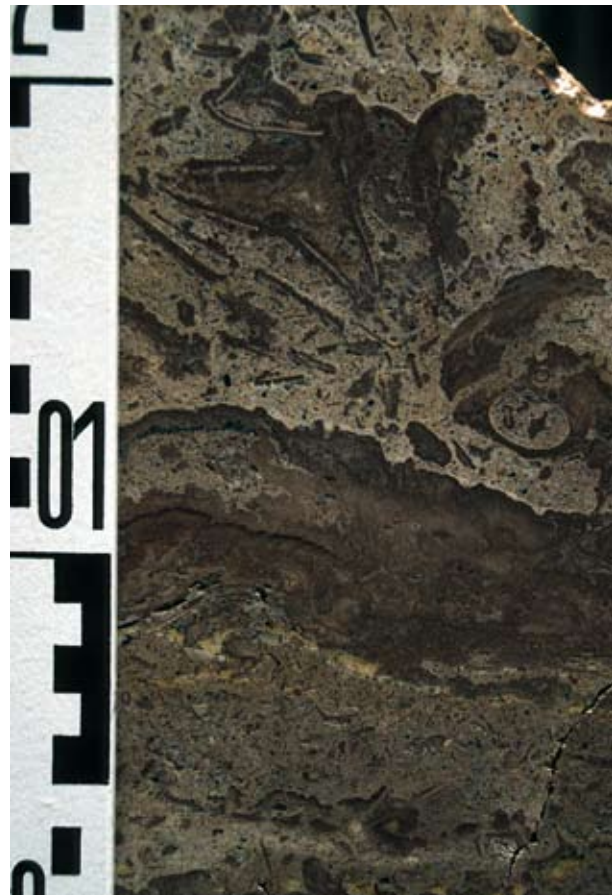
► **Abb. 68** Der polierfähige Süßwasserkalkstein „Gauinger Travertin“ von Zwiefalten-Gauingen.

2.7.3 Kalksteine

Kalksinter, Travertine und Kalktuffe (Abb. 67 bis 69): Diese Süßwasserkalke entstanden – und entstehen noch rezent – dort, wo hochmineralisierte Süßwässer ihren Kalkgehalt absetzen können. Bildungsorte sind zumeist Quellaustritte, Thermalspalten, Seen und Höhlen. Es entstehen dabei einerseits lockere, „tuffartige“, und andererseits krustenartige Kalke, meist kavernöse und poröse Kalksinter. Neben den vielen geologischen



Abb. 67 Holozäner Sinterkalkstein aus dem Steinbruch Bärenthal nördlich von Fridingen a. d. Donau (RG 7919-2).





Bezeichnungen (Definitionen bei KOBAN 1993 und SCHWEIGERT 1996) gibt es in der Natursteinindustrie gebräuchliche Begriffe, die oft eine etwas andere Bedeutung haben. Oft wird lediglich zwischen Kalktuff und Travertin unterschieden, wobei Kalktuff das überwiegend lockere, hochporöse, zellig-kavernöse Material bezeichnet, das leicht mit der Hacke, Säge oder dem Bagger gewonnen werden kann. An der Luft härten diese Tuffe aus. Als Travertin werden alle Süßwasserkalksteine bezeichnet, die so feste Kornbindung aufweisen, dass sie auch poliert werden können. Das trifft für die jungtertiären See-kalksteine der Schwäbischen Alb bei Zwiefalten und Riedlingen ebenso zu wie für die in Spalten entstandenen Thermalsinter von Böttingen und Riedöschingen sowie für den durch Austritte von Kohlendioxid entstandenen Cannstatter Travertin.

Cannstatter Travertin:

Beim berühmten Cannstatter Travertin handelt es sich um einen Sauerwasserkalkstein. Dieser Travertin entstand in den Austrittsbereichen von warmen, CO₂-reichen Mineralquellen während des Quartärs. Der Aufstieg der Kohlendioxidlinge geht auf das tektonische Bruchsystem des Fildergrabens zurück, an dessen nordöstlichem Randbruch Bad Cannstatt liegt (KOBAN 1993, REIFF 1998). Es gibt mehrere Lagerhorizonte, von denen jedoch nur noch einer (mitten im Stadtgebiet) in Abbau steht.

Gauinger Travertin (Abb. 68): Am südlichen Rand der Schwäbischen Alb wurden während des Jungtertiärs (Obermiozän, vor 10 bis 5 Mio. Jahren) Süßwasserkalksteine im Wechsel mit kalkigen und sandigen Mergeln abgelagert. Sie werden der Oberen Süßwassermolasse zugerechnet. Diese von der Natursteinindustrie ebenfalls als „Travertine“ bezeichneten Süßwasserkalksteine sind in warmen, flachen Seen zur Ablagerung gekommen, die von Schilfgürteln umgeben waren und eine individuenreiche Schneckenfauna aufwiesen. Wäh-

rend der Phasen mit ruhiger Sedimentation kam es zur Bildung der harten aber kavernösen Kalksteine des Gauinger Travertins. Mehrere Lager mit Sinterkalksteinen mit Mächtigkeiten zwischen 3 und 6 m konnten durch Erkundung des LGRB bei Zwiefalten-Gauingen und -Sonderbuch nachgewiesen werden. Nordwestlich von Riedlingen treten ebenfalls bauwürdige Travertinbänke auf (WERNER & KIMMIG 2004).



Abb. 69 Durch Eisenoxid rot gefärbter Thermalsinter (Travertin) von Riedöschingen.

Die Süßwasserkalksteine der Zwiefalter Alb werden seit rd. 1000 Jahren zur Gewinnung von Naturwerksteinen genutzt. Hirsauer Mönche ließen im 11. Jahrhundert im Tal von Zwiefalten die erste Klosterkirche aus der besonders widerstandsfähigen, gleichzeitig aber gut zu bearbeitenden Varietät der Süßwasserkalksteine bauen. Das heutige barocke Münster von Zwiefalten wurde von 1738 bis 1780 mit demselben Naturwerkstein errichtet. Der Travertin wird heute hauptsächlich für Bodenplatten, Wand- und Fassadenverkleidungen, Gartenbausteine, Denk- und Grabmäler, Bildhauerplastiken und innenarchitektonische Zwecke (wie z. B. Tischplatten oder Gesimse) sowie zur Restaurierung für Baudenkmäler verwendet. In der Gegenwart werden große Bauwerke in Berlin und Mün-

chen mit diesem Gestein verblendet. Im Gegensatz zum Cannstatter Travertin weisen „Süßwasserkalk-Travertine“ des Raumes Zwiefalten-Riedlingen ein großes Vorratspotenzial auf.

Craillsheimer Muschelkalk: Zu den Naturwerksteinen Baden-Württembergs, die aus langer Tradition heraus auch heute noch abgebaut werden, gehört der graue bis gelblich-graue, trochitenreiche Schillkalkstein aus der Unteren Hauptmuschelkalk-Formation, der im Allgemeinen unter der Bezeichnung „Craillsheimer Muschelkalk“ bekannt ist (Abb. 34).

Im Steinbruch Satteldorf-Neidenfels wird der Muschelkalk aus zwei 1,3 – 1,5 m mächtigen Lagern in großen Blöcken gewonnen (Abb. 150). Verwen-



◀ **Abb. 70** Durch Umwelteinwirkungen stark angegriffener Molassesandstein am Konstanzer Münster.

det wurde dieser gut polierfähige, verwitterungsbeständige Kalkstein z. B. für die folgenden Großbauwerke (Bock & WERNER 2005):

- Stuttgarter Hauptbahnhof (1914 – 1928)
- Glockenturm des Olympia-Stadions Berlin (1934 – 1936)
- Rheinbrücke in Köln-Rodenkirchen (1936 – 1938, 1990 – 1994)
- Wirtschaftsministerium in Stuttgart (1991)
- Congresszentrum in Ulm (1992)
- Staatskanzlei in München (1992)
- Zeppelin-Museum in Friedrichshafen (1995)
- Bundesministerium für Finanzen (1997 – 2000)
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales in Berlin (1999)
- Museum Würth in Schwäbisch Hall (1999 – 2000)
- Deutsche Botschaft in Tokyo (2004).



Posidonienschiefer: Die bituminösen Ton- und Mergelsteine des Schwarzen Juras (Unterjura, Lias epsilon) enthalten als „Fleins“ bezeichnete Kalksteinbänke, die sich zur Herstellung von Dekorationssteinen eignen. Im Bereich Ohmden–Holzmaden wird aktuell in zwei Brüchen eine 15 – 20 cm mächtige, bituminöse und fossilreiche Mergelkalksteinbank der Posidonienschiefer als Naturwerksteinmaterial gewonnen, wenngleich auch nur in geringen Mengen. Berühmt ist der „Posidonienschiefer von Holzmaden“ durch seine besonders gut erhaltenen Meeresfossilien (Museum Hauff in Holzmaden, Werkforum im Zementwerk Dotternhausen, viele weitere nationale und internationale Naturkundemuseen). Die Schieferplatten aus den genannten Brüchen gehen daher oft an Museen und Privatsammlungen sowie an Schieferwerke zur Verarbeitung z. B. zu Tisch- und Wandplatten. Auch Fliesengeschäfte und Kaminbauer verwenden die Gesteine. Das Kurhaus in Bad Boll nutzt den Posidonienschiefer zur Fangoherstellung (s. Kap. 2.10).

◀ **Abb. 71** Aus Buntsandstein errichteter Hauptturm des Freiburger Münsters, der seit Sommer 2006 nur noch eingerüstet zu sehen ist. Große Mengen an verwitterungsbeständigem Buntsandstein werden zur Restaurierung benötigt.



2.7.4 Grundgebirgsgesteine

Vorbemerkungen: Gesteine aus dem Grundgebirge des Odenwalds und des Schwarzwalds wie Granite, Gneise, Anatexite bzw. Diatexite⁶ und Quarzporphyre (Abb. 35 bis 46) eignen sich in bestimmten Varietäten und tektonisch wenig beanspruchten Vorkommen grundsätzlich gut als verwitterungsbeständige, polierfähige Werksteine. Allerdings ist der Gewinnungsaufwand wegen der starken Wechselhaftigkeit des an tektonischen

► **Abb. 72** „Kaiserstühler Tuffstein“, ein Tephrit-Pyroklastit: Abbau für die Renovierung des Breisacher Münsters im Jahr 2004. Am Achkarrener Schlossberg wurde ein ehemaliger Steinbruch zur Gewinnung von „Denkmalgesteinen“ kurzzeitig wieder eröffnet.



Trennflächen reichen Grundgebirges am Rand des Oberrheingrabens hoch. Es fallen meist nur geringe Mengen an ausreichend dimensionierten Rohblöcken an. Da der überwiegende Anteil der gebrochenen Gesteine aber gute mechanische Eigenschaften für den Verkehrswegebau oder als Betonzuschlagstoff aufweist, steht heute die Erzeugung von Schottern und Splitten im Vordergrund (Kap. 2.4) – nur die dabei anfallenden ausreichend dimensionierten Blöcke werden bei entsprechender Nachfrage als Werkstein verwendet. Grundsätzlich ähnliche Verhältnisse sind in den tertiärzeitlichen Vulkaniten des Kaiserstuhls gegeben, jedoch sind hier nur wenige Gesteine (Phonolith, Karbonatit) auch polierfähig.

Wichtige Vorkommen: Aus der Fülle der geeigneten Gesteine sollen hier nur diejenigen kurz erwähnt werden, die aktuell als Naturwerksteine



▲ **Abb. 73** Erfolgreiche Renovierungsarbeiten am Breisacher Münster, das sowohl aus „Kaiserstühler Tuffstein“ als auch aus rot und gelb geflammten Sandsteinen errichtet worden war: Eingebaut wurden nun Neckartäler Hartsandsteine (Bausandstein-Formation) und Tephrit-Pyroklastite von Achkarren (s. Abb. 72).

⁶ Anatexite und Diatexite sind hochmetamorphe Gesteine, die durch teilweise oder weitgehende Gesteinsaufschmelzung zahlreiche granitartige Schlieren enthalten. Der Kornverband ist i. d. R. besser verzahnt als bei den Gneisen.

genutzt werden oder bis vor wenigen Jahren Rohblöcke für Steinmetzbetriebe geliefert haben. Die Erhebungen erbrachten, dass bis Ende der 1990er Jahre die meisten Brüche im Granit oder Granitporphyr (Abb. 39 und 40) auch Werksteine produziert haben, dann ging die Nachfrage aufgrund der hohen Kosten und der günstigeren Angebote aus dem Ausland stark zurück. Geeignete Blöcke liefern die Granitporphyrbrüche bei Waldshut-Tiengen und die Granitbrüche bei Bühlertal (Bühlertal-Granit), Forbach, Forbach-Raumünzach (Raumünzach-Granit), Waldulm-Renchen, Seebach (Seebach-Granit), Schramberg (Triberger Granit), Hornberg-Niederwasser, Tennenbronn, Eisenbach-Bregenbach, Tegernau, Malsburg-Marzell (Malsburg-Granit) und Görwihl-Niederwihl (Beschreibung in Kap. 2.4). Aus diesen Brüchen werden Blöcke für den Garten- und Landschaftsbau sowie für Steinmetzarbeiten verkauft.

2.8 Industrieminerale

Mit dem Begriff „Industrieminerale“ werden alle natürlich gebildeten Minerale bzw. Mineralgemenge zusammengefasst, die in industriellen Prozessen überwiegend aufgrund ihrer chemisch-mineralogischen Eigenschaften eingesetzt werden, jedoch nicht zur Gewinnung von Metallen und von Energie (Metall- und Energierohstoffe). Hier spielen also nicht die primären Festigkeitseigenschaften – wie bei den Natursteinen oder Naturwerksteinen – eine Rolle, sondern der Mineralinhalt. Wichtige, in Baden-Württemberg auftretende Industrieminerale sind (reiner) Kalk, Gips, Quarz, Anhydrit, Steinsalz, Kalisalz, Flussspat und Schwerspat.

2.8.1 (Hochreine) Kalksteine für Weiß- und Branntkalk

Vorbemerkungen: Während „normale“ Kalksteine mit guter Kornbindung aufgrund ihrer Festigkeit zur Rohstoffgruppe „Natursteine für den Verkehrswegebau, für Baustoffe und als Betonzuschlag“ gerechnet werden (Kap. 2.3), spricht man bei solchen mit mehr als 98,5% Calciumkarbonat von „hochreinen Kalksteinen“, da sie aufgrund ihrer chemischen Reinheit verschiedenen hochwertigen Nutzungen zugeführt werden können. Sind hochreine Kalksteine zusätzlich rein weiß, werden sie Weißkalksteine bzw. Weißkalke genannt. Kalksteine mit unter 90% liegenden, aber gleichmäßigen Gehalten an CaCO_3 können auch zur Erzeugung von Branntkalk bzw. zur Erzeugung von Putzen Verwendung finden.

Wichtige Vorkommen: Die Verbreitungsgebiete von hochreinen Kalksteinen im Oberjura der Schwäbischen Alb sind in Abb. 74 dargestellt. Die reinen Kalksteine treten im Oberen Massenkalk (Abb. 75 und 76) auf. Als wichtige Gewinnungs- und Produktionsstandorte sind zu nennen:

- Blaubeuren-Altental, Eduard Merkle GmbH & Co. KG
Kalk-, Terrazzo- und Steinmahlwerke (RG 7624-2)
- Blaustein-Herrlingen, Märker Kalk GmbH (Märker-Gruppe Harburg), bis Ende 2001 Ulmer Weisskalk GmbH & Co. KG (RG 7525-6). Der im Jahr 2000 begonnene untertägige Versuchsabbau im Mähringer Berg bei Ulm (Abb. 158) soll wieder aufgenommen werden (RG 7625-11)
- Giengen-Burgberg, OMYA GmbH Werk Burgberg (RG 7427-1)
- Waibertal, Schön & Hippelein GmbH & Co. Natursteinwerke (RG 7227-1) und Karl Kraft Steinwerke Schotter- und Mineralbetonwerk oHG (RG 7227-3)
- Emmingen-Liptingen, KVV Jura-Steinwerke GmbH & Co. KG (RG 8019-2)

Am südlichen Oberrhein gibt es drei Standorte, die Kalksteinprodukte zusammen mit Weiß- und Branntkalken bzw. Weißfeinkalken aus Schichten des Mitteljuras (Braunjura) und des Oberjuras (Weißjura) der Vorbergzone erzeugen:

- Merdingen am Tuniberg, Maxit Deutschland GmbH (RG 7912-2)
- Bollschweil (südlich von Freiburg), Knauf Marmorit GmbH (RG 8012-1)
- Kalkwerk Istein, HeidelbergCement AG, Versorgung durch den Steinbruch „Kapf“ bei Efringen-Kirchen, Ortsteil Huttingen (RG 8311-3). Im Kalkwerk Istein werden jährlich rd. 700 000 t Kalkstein verarbeitet (www.heidelberger-kalk.de).

Während bei Bollschweil am Schönberg und Merdingen am Tuniberg Kalkoolithe (Abb. 29) des sog. Hauptrogensteins (Mitteljura) genutzt werden, stützt sich die Produktion des traditionsreichen Werkes bei Istein – wo industrieller Kalksteinabbau schon seit dem Jahr 1812 erfolgt – auf die Korallenkalke (auch Rauracien-Kalke) und Splitterkalke im Niveau des Oxfordiums. Künftig werden für das Kalkwerk Bollschweil auch Tertiär-Konglomerate der Vorbergzone am Schönberg – die zu einem großen Teil aus Geröllen von Hauptrogenstein bestehen – eine Rolle bei der Produktion von Kalkprodukten spielen. Alle genannten Standorte sind auf der Beilagenkarte dargestellt.

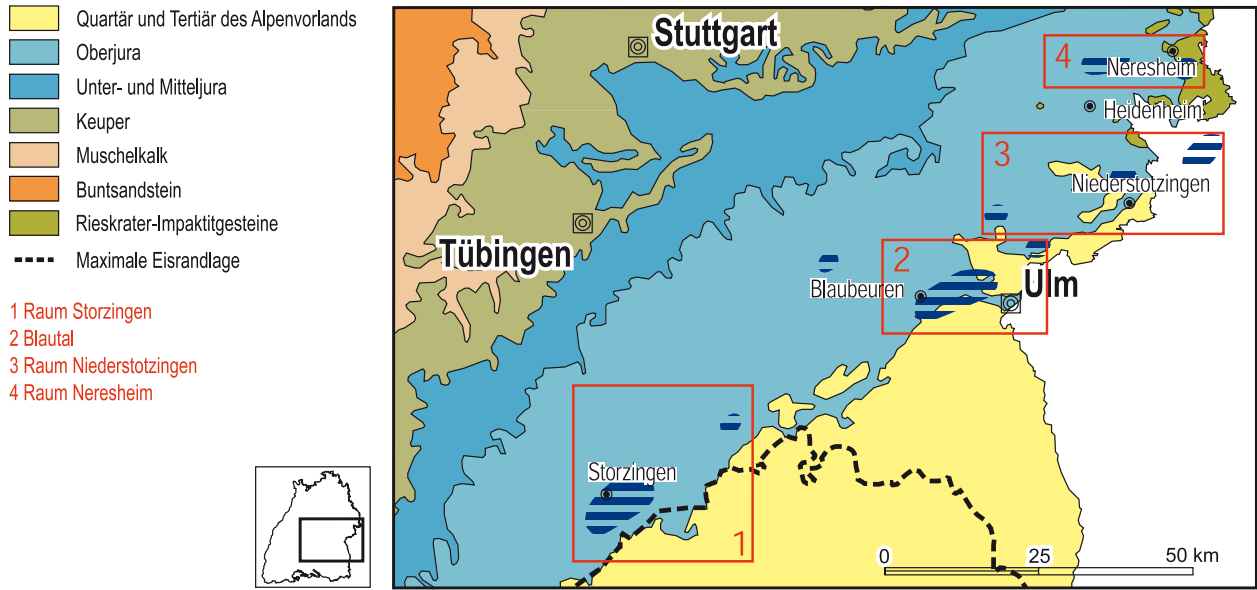


Abb. 74 Wichtigste Verbreitungsgebiete von hochreinen Kalksteinen im Oberjura der Schwäbischen Alb (dunkelblau schraffiert).



▲ Abb. 75 Abbau hochreiner Oberjura-Kalksteine im Steinbruch Waibertal (RG 7227-1).

◀ Abb. 76 Detailansicht eines hochreinen Kalksteins (Oberer Massenkalk).

Verwendung: Haupteinsatzbereiche für reine und hochreine Kalksteine in der Baustoffindustrie sind die Produktion von Putzen und Edelputzen (Sichtputze), von Terrazzo (Betonwerksteine) sowie von Kalksand- und Porenbetonsteinen. In der Produktion von Portlandzementen sind zur Einstellung des CaO-Gehalts reine Kalksteine mit möglichst gleichmäßigem Calciumkarbonatgehalt gefragt. Weitere bedeutende Einsatzbereiche sind:

- Düngung in Forst- und Landwirtschaft
- Wasser-, Abwasser- und Klärschlammaufbereitung
- Erzeugung von Futtermitteln sowie von Lacken, Dispersionsfarben und Kunststoffen in der chemischen Industrie.

Besonders reine Kalke gehen in die Glasproduktion und die Papierindustrie. Auch in der Rauchgasentschwefelung spielen reine Kalke eine große Rolle (vgl. Produktion von REA-Gips, Kap. 2.8.2). Relativ neu ist die Verwendung für die Rauchgasreinigung zur Bindung von sauren Gasen, leicht flüchtigen Schwermetallen, Dioxinen, Furanen usw. unter Verwendung eines Gemisches aus Calciumkarbonat, CaO, Ca(OH)₂ und Kohle, ein Produkt, das im neuen Werk der Fa. Märker in Herrlingen ab 2007 produziert werden soll (www.maerker-umwelttechnik.de).

Entsprechend der Fertigungsstufe und der Zusammensetzung unterscheidet man:

- Ungebrannte Erzeugnisse (Rohkalkstein): gebrochen als Körnungen oder gemahlen als Füller
- Gebrannte Erzeugnisse (Branntkalk, CaO): gebrochen als Stückkalk oder gemahlen als Weißfeinkalk
- Gelöschte Erzeugnisse (Kalkhydrat, Ca[OH]₂): gemahlen als Weißkalkhydrat oder flüssig als Kalkmilch.

Beispiele für typische Produkte dieser Fertigungsstufen sind:

- Ungebrannte Erzeugnisse (CaCO₃):
 - Kalksteinfeinmehl
 - Kalksteinfüller/ Kalksteinmehl
 - Kalksteingrieß
 - Feinkalkstein
 - Kalksteinsand
 - Kalksteinsplitt
 - Kalksteinschotter
- Gebrannter Kalk (CaO):
 - Weißfeinkalk
 - Brantkalk, körnig
 - Stückkalk
- Gelöschter Kalk (Ca[OH]₂):
 - Weißkalkhydrat

Ein möglichst hoher CaCO₃-Gehalt und eine rein weiße Farbe sind für den Einsatz als Farbpigment, in der Glasindustrie (Weißglas) oder chemischen Industrie (Füllstoffe) von Bedeutung. Schon Eisenoxid-Gehalte im Gestein von 0,05 % können eine optisch deutlich erkennbare Färbung des Produkts hervorrufen. Ebenfalls stark färbend wirken Manganbeimengungen.

Jedes Produkt hat seinen eigenen, vom Hersteller garantierten Weißgrad, der anhand eines firmeneigenen Standards überwacht wird.

2.8.2 Gips- und Anhydritstein (Sulfatgesteine)

Vorbemerkungen: Die industrielle Gipsproduktion erfolgt entweder durch Aufbereitung von natürlichem Gipsstein oder aus technischen Prozessen. Von großer Bedeutung ist die Erzeugung von Gips aus der Entschwefelung von Rauchgasen in Kraftwerken (Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen = REA-Gips). Als Gipsstein wird ein verfestigtes natürliches Mineralgemenge aus Gipskristallen (CaSO₄ x 2 H₂O) mit geringen Beimengungen von Tonmineralen, Karbonaten und Silikaten verstanden (Abb. 77 bis 79). Anhydritstein ist ganz überwiegend während der Diagenese (Verfestigung des Sedimentes zu Gestein unter Entwässerung) aus Gipsedimenten hervorgegangen.

Die wichtigsten Gipssteinvorkommen Südwestdeutschlands treten in den Grundgipsschichten des Keupers auf (Abb. 80). Der Gipsstein ist im oberflächennahen Bereich unter geringmächtiger Überdeckung aus Anhydritstein durch Wasseraufnahme entstanden. Er ist gut wasserlöslich und wird im Sicker- und Grundwasserbereich daher leicht abgelaugt. Dieser Vorgang wird als „Subrosion“ bezeichnet. Bauwürdige Gipssteinlagerstätten treten somit nur in einem schmalen Streifen zwischen der talseitigen Ablaugungszone und den bergwärtigen Anhydritsteinschichten auf. Die nutzbare Mächtigkeit beträgt in Südwestdeutschland vorwiegend 2 – 8 m (Mittelwert ca. 4 – 5 m). Da die Gipssteinlagerstätten bevorzugt an den Flanken von weiten Tälern auftreten und ihre Gewinnung aufgrund der geringen nutzbaren Mächtigkeit und teilweise intensiven Subrosion eine relativ große Flächeninanspruchnahme bedingt, sind Nutzungskonflikte mit dem Gewässer-, Wald- und Naturschutz und anderen konkurrierenden Raumnutzungen häufig.

REA-Gips: Derzeit werden ca. 50% des gesamten Rohgipsbedarfs aus der Produktion von REA-Gips gedeckt. Die Erzeugung von REA-Gips ist an die Entschwefelung von fossilen Energieträgern



Abb. 77 Gipsbruch Crailsheim-Hagenhof (RG 6826-7). Über den 6 – 11 m mächtige Grundgipsschichten müssen insgesamt bis zu 12 m mächtige Gesteine des Bochingen-Horizontes und der Dunkelroten Mergel abgeräumt werden.

bedeutende Vorkommen von Sulfatgesteinen (Abb. 2). Die heute als bauwürdig anzusehenden **Gipssteinvorkommen** sind an die Grundgipsschichten an der Basis des Gipskeupers gebunden (Abb. 77 und 80). Die Gipssteinlagerstätten – also die derzeit als bauwürdig erachteten Vorkommen – konzentrieren sich in den Gebieten Crailsheim–Schwäbisch Hall und Herrenberg–Rottweil. In den Regionen Neckar-Alb und Stuttgart gibt es nur einige Restvorkommen, deren Nutzung voraussichtlich in den nächsten Jahren ganz eingestellt wird. Die Vorkommen am Hochrhein werden derzeit wegen geringerer Materialreinheit und Lagerstättengröße nicht genutzt. Erkundungsarbeiten des LGRB in der Region Franken konnten noch bisher unbekante

und hier vor allem an die heimische Braunkohle gebunden. Kaum prognostizierbar ist derzeit der Anteil an Braunkohle am künftigen „Energimix“. Bei einer Reduktion des Abbaus von Braunkohle aus deutschen Lagerstätten – z. B. aufgrund von Klimaschutzzielen – müsste der Anteil an Naturgipsstein ansteigen. Die aktuelle Braunkohlenförderung in Deutschland beläuft sich auf 180 Mio. t (2005), die Vorräte werden mit rd. 7 Mrd. t angegeben (BGR). Sofern die Gewinnung also weiterhin erfolgen kann, ist mit ausreichend REA-Gips zu rechnen.

Wichtige Vorkommen: Baden-Württemberg verfügt vor allem in den Regionen Heilbronn-Franken und Schwarzwald-Baar-Heuberg über wirtschaftlich



Abb. 78 Lagiger Gipsstein der Grundgipsschichten im Gipsbruch Haigerloch-Stetten (RG 7618-4). Bildbreite = 70 cm.

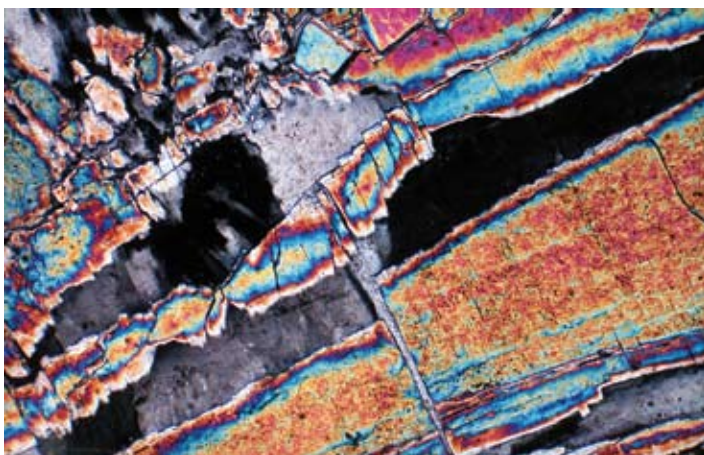


Abb. 79 Dünnschliffphoto von Gips unter gekreuzten Polarisatoren (40-fach vergrößert).

Bereiche mit voraussichtlich bauwürdigen Gipssteinvorkommen eingrenzen. Die Erkundungsarbeiten zur Rohstoffsicherung zeigten auch, dass für Gipsstein mittelfristig mit einer Verknappung zu rechnen ist (vgl. Textkasten S. 126) – insbesondere, wenn die Konflikte mit anderen Raumnutzungen weiter zunehmen. Hinzuweisen ist noch auf die Gipssteinlager im Mittleren Muschelkalk, die nur untertägig genutzt werden können. Sie weisen i. d. R. höhere Anhydritgehalte auf.

Gips- und Anhydritstein werden in den Regionalplänen zur Rohstoffsicherung ebenso wie in der Karte der mineralischen Rohstoffe von Baden-Württemberg (KMR 50) des LGRB aufgrund ihrer engen Verge-

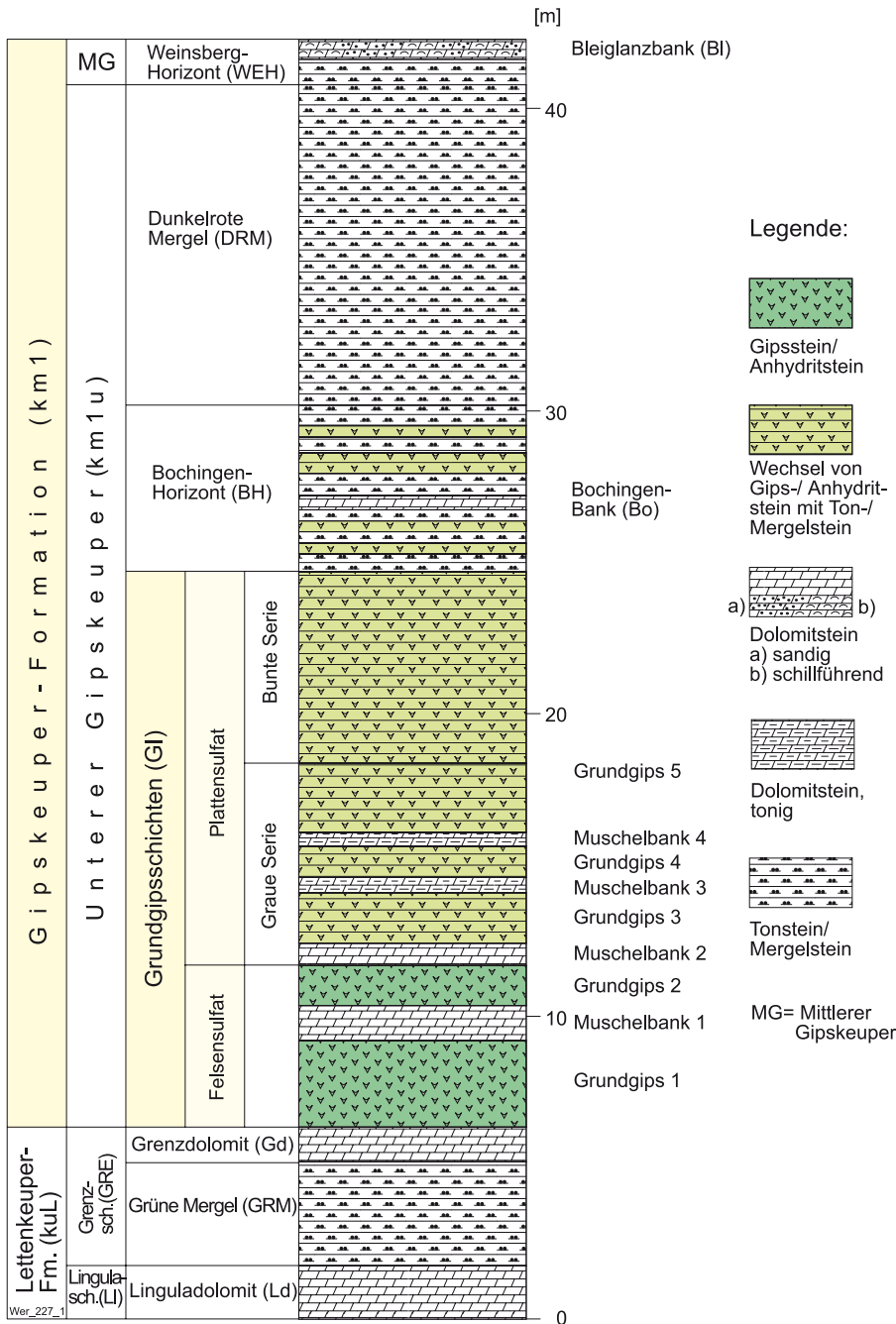


Abb. 80 Lithologisches Übersichtsprofil der Gipskeuper-Formation des Mittelkeupers. In grünen Farben dargestellt sind die potenziell bauwürdigen Abschnitte. Dunkelgrün: massiv ausgebildetes Felsensulfat. Hellgrün: Wechselfolge von Gips- bzw. Anhydritstein und Ton-/Mergelsteinlagen. Industriell verwertbar sind i. d. R. die Gipssteine des Felsensulfats und der unteren Hälfte des Plattensulfats.

sellschaftung gemeinsam betrachtet. Nach ausreichend detaillierter Lagerstättenerkundung entscheidet die Industrie, welche Lagerstättenteile – bestehend vor allem aus Gipsstein, Anhydritstein oder aus einem Gips- /Anhydritmischgestein – zur Erzeugung aktuell besonders nachgefragter Produkte abgebaut werden können.

Anhydritstein tritt in großen Vorkommen im Keuper und im Mittleren Muschelkalk auf. Genutzte

Lagerstätten finden sich bei Obrigheim im Mittleren Muschelkalk (im Untertagebergbau genutzte Mächtigkeit: 10 – 17 m) und bei Vellberg-Talheim im Unteren Gipskeuper (10 – 12 m).

Verwendung: Als Rohsteinzuschlag regulieren Gips und/oder Anhydrit das Abbindeverhalten von Zement. Stuckgips sowie verzögerte Mehrphasengipse (Estrichgips) bilden die Grundlage verschiedenster Innenputzanwendungen, als Gipskartonplatten für Wände, Decken und Böden im Trockenbau, als Maschinen- oder Handputz sowie für diverse Spachtelmassen. Gips- und Anhydritstein – ungebraunt und sehr fein vermahlen – werden als Füllstoffe in Papier und Kunststoffen verwendet. In geringerem Umfang werden auch Spezialgipse erzeugt; zu nennen sind Formengips, der zur Herstellung von Keramik benötigt wird, Dentalgips und Gips für Verbände im medizinischen Bereich.

Hauptverwendungsbereiche für reinen Anhydritstein sind schnellabbindende Anhydritfließestriche und Zumahlstoffe für Zemente zur Regulierung des Abbindeverhaltens (Abbindeverzögerer). Der Fließ-

estrich wird aus gebrochenem und teilweise feingemahlenem Naturanhydritstein erzeugt.

Der Rohstoff muss eine Reihe von Qualitätsanforderungen erfüllen. Große Bedeutung kommt zunächst dem Reinheitsgrad des Sulfatgesteins zu. Je nach Produkt kann ein Gipsgehalt von 70 % (Zementzuschlagstoff) ausreichen; für Spezialgipse hingegen ist ein Gehalt von mehr als 97 % erforderlich. Die meisten Baugipse erfordern Rein-



heitsgrade von 75 – 85%. Als störende Nebengemengteile gelten insbesondere leicht lösliche Natrium- und Magnesiumsalze (Chloride und Sulfate) wie Kochsalz, Glaubersalz, Bittersalz usw. Auch Quelltone sind bereits in geringer Menge unerwünscht. Sehr wichtig für die Produktion ist jedoch im Wesentlichen die Gleichmäßigkeit einer definierten Zusammensetzung des Rohsteins. Auch geringe Abweichungen führen zu veränderten Eigenschaften innerhalb einer Produktlinie. Aus diesem Grund ist es für ein Gipswerk zumeist erforderlich, für die geforderte Rohstoffmischung mehrere Abbaustellen zu betreiben, um zuverlässig gleichmäßige Produkteigenschaften zu gewährleisten.

2.8.3 Trassrohstoff Phonolith

Vorbemerkungen: Wie unter Kap. 2.4 bei den Natursteinen bereits kurz ausgeführt, ist der Kaiserstühler Phonolith (Abb. 81) für sehr unterschiedliche Verwendungen einsetzbar. Seine aktuell wichtigsten Einsatzbereiche gehen auf den hohen Anteil an Zeolithen zurück. Zeolithe sind Gerüstsilikate mit besonders weitmaschig angelegten Kristallstrukturen. In den Zwischenräumen befinden sich große Kationen und Wassermoleküle. Das „Zeolithwasser“ lässt sich schon bei geringen Temperaturen durch das sog. „Tempern“ austreiben, ohne dass sich die Gerüststruktur der Zeolithe verändert. Von großer technischer Bedeutung ist, dass getemperte Phonolithmehle Wasser wieder aufnehmen können. Auch andere Stoffe, wie z. B. Schwermetalle, können die Zeolithe fest an sich binden, was für die Abgasreinigung wichtig ist.

Wichtige Vorkommen: Zeolithreicher Phonolith gehört zu den seltenen mineralischen Rohstoffen in Südwestdeutschland. Nach bisheriger Kenntnis tritt er nur im östlichen Kaiserstuhl auf. Ein sehr zeolithreiches Phonolithvorkommen wird bei Bötzingen abgebaut und vor Ort veredelt (Abb. 129). Das unauffällige, „basaltartige“ Gestein enthält bis zu 45% Zeolithe. Aufgrund des hohen Zeolithanteils, dem das Gesteinsmehl seine puzzolanischen Eigenschaften verdankt, wurde der Abbau des Phonolithstocks des Fohbergs bei Bötzingen unter Bergaufsicht gestellt („Trass“, vgl. Ausführungen in Kap. 2.1). Der im Steinbruch über eine Höhe von 60 m aufgeschlossene Phonolith besteht vor allem aus Alkalifeldspat, den Foiden Sodalith, Hauyn und Nephelin sowie aus Wollastonit; Kristalle von Orthoklas, Wollastonit und Augit liegen in der dichten Grundmasse vor, die in feinen hellen Schüppchen die Zeolithe enthält (Abb. 81). Ausgehend von Rissen kam es nach der Intrusion der Vulkanite zur intensiven Zeolithisierung, wobei vor allem Natrolith ($\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \times 2 \text{H}_2\text{O}$) gebildet wurde. Natrolith enthält 9,5 – 9,7% Kristallwasser.



Abb. 81 Mikroskopisches Bild eines Kaiserstühler Phonoliths: Pyroxene bilden große Kristalle in einer dichten Grundmasse, in der sich auch nadelige Kristalle von Zeolithen verbergen (Bildbreite = ca. 3 mm, Gesteinsdünnschliff im polarisierten Licht).

Verwendung: Die Phonolithgesteinsmehle, naturbelassen oder getempert, werden in zahlreichen, ganz unterschiedlichen Bereichen eingesetzt. Die wichtigsten sind:

- Zumahlstoffe zu Kompositzementen (Puzzolaneigenschaften!)
- Abbindeverzögerer in Putzen (Putze bleiben länger bearbeitungsfähig)
- Rauchgasreinigung in Müllverbrennungsanlagen (in Mischung mit Aktivkohle): Zeolithe begünstigen die Anlagerung von Dioxinen, Furanen und Quecksilber
- Wasserfiltration in Wasserwerken (Phonolithkörnung 0,4 – 0,8 mm)
- Forst- und Landwirtschaft: zur Bodenverbesserung und Düngung (Kalidünger mit 5 – 5,5% K_2O) sowie zur Stickstoffbindung beim Gülleausbringen
- Naturfango
- Zusatzstoff in Kosmetika und Füllstoff in Arzneimitteln
- Tiernahrung (bis 2,5 M.-% Phonolithmehlzusatz im Futter)
- Glasindustrie: zur Grün- und Braunglasherstellung (Tonerde- und Alkalienlieferant, Temperatursenkung der Glasschmelze)
- Bitumenherstellung als versteifender Füller zur Verminderung der Rissbildung in Straßendecken bei niedrigen Temperaturen und zur Verhinderung des Ablaufens von Teer bei hohen Temperaturen
- Herstellung von Dämmstoffen.

Derzeit wird die industrielle Verwendbarkeit des nördlich vom Steinbruch Bötzingen gelegenen Vorkommens im Gewinn Endhale geprüft. Die

Erkundungsarbeiten zur Naturwerksteinerkundung für die Renovation des Breisacher Münsters im Tephrit von Achkarren (Abb. 72 und 73) zeigte, dass auch in diesem „Kaiserstühler Tuffstein“ zahlreiche Zeolithe in unregelmäßiger Verteilung auftreten.

2.8.4 Steinsalz, Kalisalz, Sole

2.8.4.1 Einführung

Deutschland ist eines der bedeutendsten Salzbergbaugebiete der Welt und Baden-Württemberg gehört mit einer Fördermenge von fast 5 Mio. t zur Spitzengruppe der deutschen Steinsalzproduzenten (Abb. 169). Steinsalzlager in den Schichten des Mittleren Muschelkalks, 237 – 235 Mio. Jahre alt, werden seit dem Jahr 1885 bei Heilbronn am Neckar und sogar schon seit 1858 im Eyachtal bei Haigerloch-Stetten bergmännisch gewonnen (Abb. 82 und 83). Salzgewinnung aus Natursole fand an Kocher und Jagst schon in keltischer Zeit statt (Zusammenstellung in SIMON 1995). Große Mengen an Sole wurden im 20. Jahrhundert bei Heilbronn (Abb. 170) und bei Rheinfelden am Hochrhein gefördert, heute werden nur noch geringe Mengen vornehmlich für balneologische Zwecke erzeugt (Kap. 3.8.3).

Die Salzlager am Oberrhein, die in Südbaden (Buggingen, Heitersheim) und im Südsass um Mulhouse bis in das Jahr 2004 abgebaut wurden, sind in erdgeschichtlich jüngeren Sedimenten abgelagert worden und stehen mit der speziellen Entwicklung des Oberrheingrabens im Zusammenhang: Vor rd. 35 Mio. Jahren kam es hier im trockenen und heißen Klima des Alttertiärs durch Eindunstung von Meereswasser zur Entstehung von Steinsalzlager, wobei im Südteil des Grabens die Eindampfung der vom Meer abgeschnürten Lagune so weit ging, dass sich auch Kalisalze bilden konnten (Abb. 84). Die steinsalz- und kalisalzführende Schichtenfolge, die auch bituminöse Tone und Sulfatgesteine enthält, ist rd. 60 m mächtig. Im Verlaufe des Tertiärs wurde darüber eine mehr als 1000 m mächtige Abfolge aus Gips, Ton und Mergel abgelagert.

2.8.4.2 Steinsalz (Kochsalz, Halit)

Steinsalz (Natriumchlorid, NaCl) besitzt eine beeindruckende Verwendungsvielfalt (Abb. 85). Große Bedeutung kommt NaCl als Bestandteil in der Nahrung für Mensch und Tier zu. Der durchschnittliche Speisesalzverzehr in Deutschland beträgt je Einwohner 8 g pro Tag (www.salzindustrie.de). In der Chemie besitzt es aufgrund seiner beiden hoch



Abb. 82 Steinsalzbergwerk Stetten bei Haigerloch: Grenze des Unteren Salzlagers (Oberes Schwadensalz) zum Bändersalz, das hier eingemuldet ist (RG 7618-8).

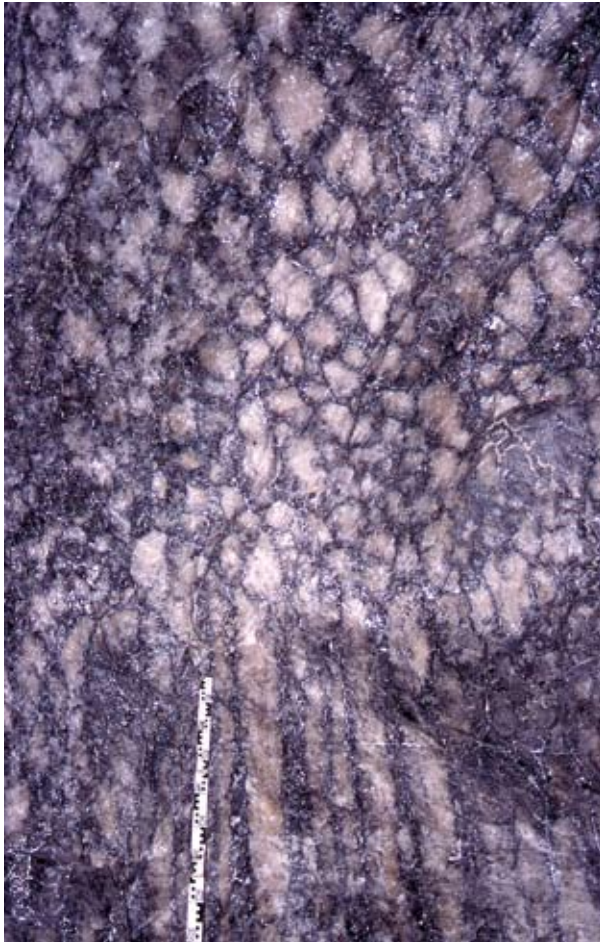


Abb. 83 Steinsalzbergwerk Heilbronn, Abbaufeld NW8: Durch Anhydrit und Toneinlagerungen gestreiftes bzw. polygonal gefeldertes, grobkristallines Steinsalz. Blick in die Firse einer Abbaukammer (Bildbreite = 2,1 m).

reaktiven Komponenten Natrium und Chlor größte technische Bedeutung. Weltweit werden ungefähr 60% für die Herstellung von Chlor, Soda, Natronlauge oder Salzsäure verwendet, für Verbindungen also, die unersetzliche Grundstoffe für die chemische Industrie darstellen. In den kühlen und zugleich dicht besiedelten Regionen der Erde wie Mittel- und Nordeuropa wird Steinsalz während der Wintermonate in beachtlichen Mengen zur Glätteisbekämpfung eingesetzt.

Baden-Württemberg weist im außeralpinen deutschen Raum die längste Tradition im Steinsalzbergbau auf. Genutzt werden 10 – 50 m mächtige Steinsalzlager im tieferen Teil des Mittleren Muschelkalks. Das erste Steinsalzbergwerk Deutschlands war die 1825 angelegte und bis 1900 betriebene Grube Wilhelmglück bei Schwäbisch Hall. Hier wurde zwischen 1824 und 1900 ein 6 m mächtiges Steinsalzflöz abgebaut. In seiner Blütezeit um 1860 betrug die Jahresförderung 20 000 t Steinsalz (SIMON 2003, BOCK & KOBLER 2003). Doch schon seit keltischer Zeit, ca. 500 v. Chr., und vor allem im Mittel-



Abb. 84 Kalisalz aus Buggingen. Sylvin (rot), im schichtweisen Wechsel mit Steinsalz (weiß und hellgrau) (Bildbreite = 16 cm).

alter wurden die Solebrunnen in diesem Gebiet intensiv genutzt: „Am Kocher Hall – die löblich Stadt, vom Salzbrunn ihren Ursprung hat.“

Als Einsatzbereiche werden unterschieden:

- Industriesalz
(80% der Steinsalzproduktion, z. B. für Soda, PVC, Natronlauge)
- Gewerbesalz
(z. B. zur Wasserenthärtung durch Ionenaustausch, in der Landwirtschaft, beim Textilfärben, beim Konservieren in der Wurstherstellung und der Fischerei-Industrie)
- Auftausalz
- Speisesalz
- Salz für medizinische und pharmazeutische Anwendungen (mehr als 20 000 pharmazeutische Präparate werden auf der Basis oder unter Verwendung von Natriumchlorid hergestellt).

Die zweitälteste Grube ist die seit 1858 in Förderung stehende Grube Stetten bei Haigerloch. Bei ihr handelt es sich um das älteste produzierende, zugleich auch um das kleinste deutsche Steinsalzbergwerk. Ein knappes Jahr später, im März 1859, begann nach fünfjährigen Schachtteufarbeiten der Steinsalzbergbau in der Grube Friedrichshall nördlich von Heilbronn. Das Bergwerk Friedrichshall war damit die drittälteste Steinsalzgrube Deutschlands, allerdings hatte man hier bereits im April 1816 das erste Mal in Mitteleuropa durch eine Bohrung ein Steinsalzlager nachgewiesen. Ebenfalls durch Bohrungen wurde kurz nacheinander an verschiedenen Orten Sole in gewinnungsfähiger Menge und Konzentration aufgefunden:

- 1822 in Bad Dürkheim,
- 1823 in Schwenningen,
- 1824 in Rottenmünster bei Rottweil,
- 1839 in Bergfelden bei Sulz a. N.

Im Jahr 1885 begann der Steinsalzbergbau in Heilbronn. In diesem größten Bergwerk Baden-Württembergs (Betreiber: Südwestdeutsche Salzwerke AG) werden jährlich mehrere Mio. Tonnen Steinsalz (Kap. 3.8.3) aus dem bis zu 20 m mächtigen „Unteren Steinsalz“ im Kammer-Festen-Bau gewonnen.

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 völlige Fehlen von K-Mg-Salzmineralien gekennzeichnet, was besonders für die chemische Industrie von Bedeutung ist. Das Untere Salzlager (Unteres Steinsalz), der AbbauhORIZONT in Heilbronn und Kochendorf, Stetten bei Haigerloch und der durch Solung genutzten Abschnitte am Hochrhein, ist fast ausschließlich als grobkristallines Steinsalz entwickelt (Abb. 83 und 86). Das in Heilbronn abgebaute Steinsalz besteht zu rd. 97 bis 98 % aus

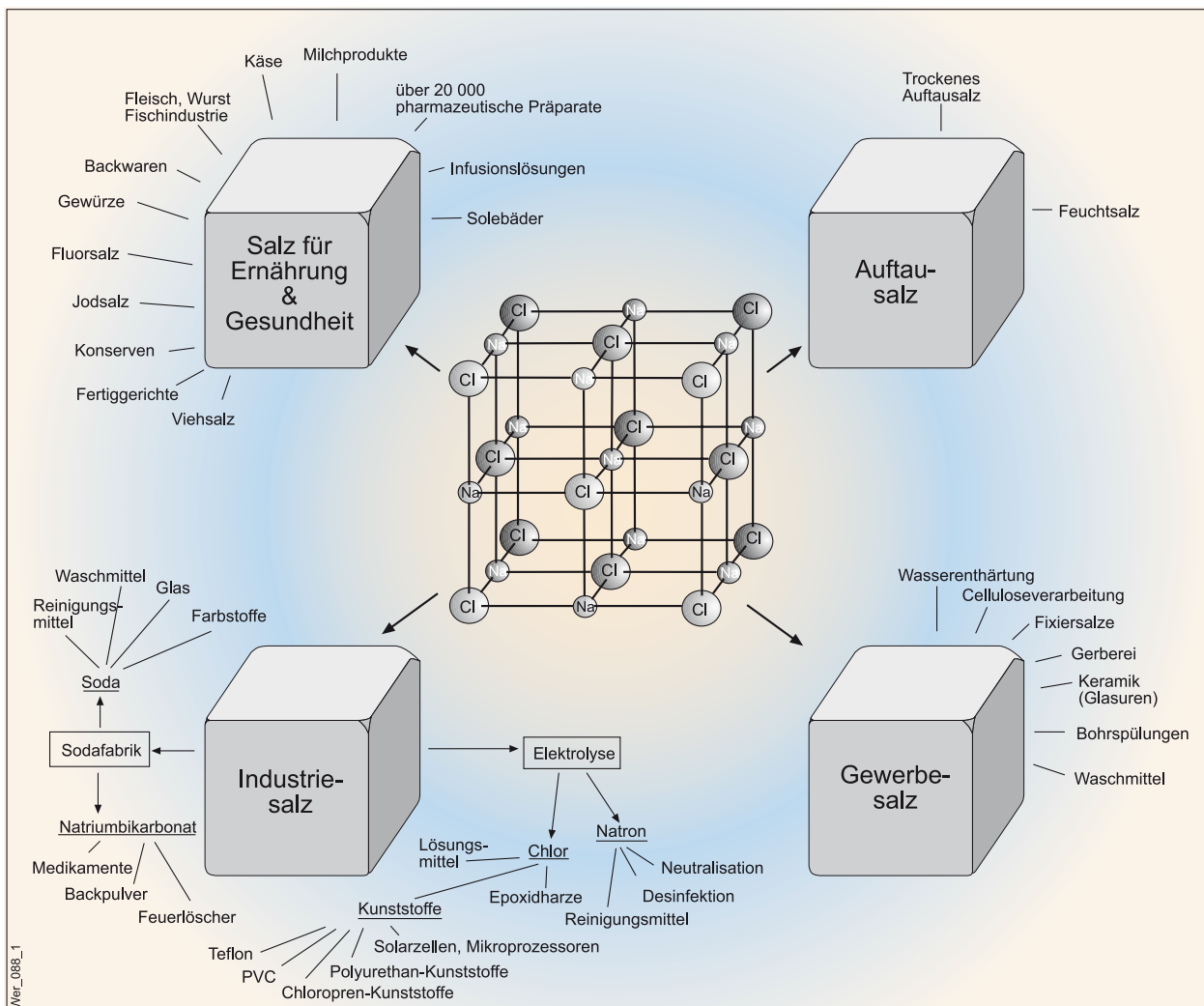


Abb. 85 Die vielfältigen Anwendungsbereiche von Steinsalz.



Natriumchlorid und enthält weniger als 1% Anhydrit und einen nicht wasserlöslichen Anteil an Karbonaten und Silikaten von 1,9 – 2,7% (FISCHBECK et al. 2003). Der nicht wasserlösliche Anteil besteht hauptsächlich aus Dolomit und den Tonmineralen Kaolinit, Illit und Chlorit sowie aus ca. 20% Quarz und Feldspat. Das Steinsalzlager bei Stetten enthält durchschnittlich 95 bis 97% NaCl.

Ganz typisch für das Muschelkalk-Steinsalz Südwestdeutschlands ist eine Struktur, die im Stoßanschnitt als vertikale Streifung erscheint. Es handelt sich um eine säulige, palisadenartige Anordnung von Anhydrit- und Toneinlagerungen, so dass an den Firsten ein polygonartiges Netz mit 10 bis 20 cm Maschenweite erscheint (Abb. 82 und 83). Ein Charakteristikum des Muschelkalk-Steinsalzes ist seine grobspätige Beschaffenheit, die sich deutlich vom fein- bis kleinkörnigen „Liniensalz“ des Zechsteins unterscheidet. In Abb. 86 werden die drei häufigsten Steinsalzvarietäten in Südwestdeutschland gezeigt.



Abb. 86 Steinsalzvarietäten aus den Gruben Kochendorf und Heilbronn (RG 6721-2, RG 6821-5): Klarsalz, rotes Salz auf einer Kluft im Anhydrit, braungraues „Schwadensalz“ (von links nach rechts).

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. Sie wird durch zwei feinschichtige, dolomitische, 0,4 – 0,8 m dicke Anhydritmittel in Unteres, Mittleres und Oberes Bändersalz gegliedert. Über das darüber folgende Obere Salz (Obere Steinsalz) ist aufgrund spärlicher Aufschlüsse nur wenig bekannt. Nach Bohrungen erreicht seine Mächtigkeit max. 13,5 m. 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.

Im Bereich Stetten fehlt das Obere Salzlager völlig, das Bändersalz ist nur in Relikten erhalten (Abb. 82). 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 lange Zukunft haben kann.

vorräte der Bergbau an der Eyach eine 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 2006). Das Salzlager wird in diesen Bereichen durch brekziöses Auslaugungsgebirge (Anhydrit, Ton, örtlich Gips) vertreten. Durch entsprechende Erkundungsarbeiten wird diesem Umstand Rechnung getragen.

lich Gips) vertreten. Durch entsprechende Erkundungsarbeiten wird diesem Umstand Rechnung getragen.

Das Steinsalz des Mittleren Muschelkalks wird auch am Hochrhein im Gebiet Rheinfeldern–Riburg genutzt. Im Vergleich zu den Lagerstätten bei Haigerloch–Stetten, Heilbronn und Friedrichshall–Kochendorf weisen die Steinsalzsichten am Hochrhein im Durchschnitt deutlich geringere NaCl-Gehalte auf, weshalb das Salz nur durch Solebetrieb wirtschaftlich gewonnen werden kann (Kap. 2.8.4.4). Das Steinsalz besteht hier nur etwa zu 75% aus Halit und zu 25% aus Calciumsulfaten, Karbonaten und Silikaten.

2.8.4.3 Kalisalz

Unter Kalisalz versteht man i. Allg. natürliche Salze, welche Kalium enthalten. Derartige Salzminerale sind z. B. Sylvit (Kaliumchlorid, KCl), Carnallit ($\text{KMgCl}_3 \times 6 \text{H}_2\text{O}$), Kieserit ($\text{MgSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$) oder Polyhalit ($\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$). Kalisalz wird vor allem zur Erzeugung von Düngemitteln benötigt, geringe Mengen von Kaliumchloriden und -sulfaten gehen in die Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Schwerpunkt des deutschen Kalisalzbergbaus sind

die Zechstein-Salzlager im Thüringer Becken und im Werrabecken (Mitteldeutschland). In Baden-Württemberg fand am südlichen Oberrhein Kalisalzbergbau statt und zwar in Schichten des Alttertiärs (Unteroligozän).

Im Jahr 1904 war man bei Bohrarbeiten nahe Wittelsheim, nordwestlich von Mulhouse, zufällig auf ein Kalisalzlager gestoßen, was eine intensive Erkundungstätigkeit beiderseits des Rheines auslöste.

1922 wurden bei Buggingen zwei Schächte auf ca. 830 m Tiefe niedergebracht und 1926 konnte mit dem Abbau des hier rd. 4,5 m mächtigen, steil nach NW oder SW einfallenden Kalisalzlagers begonnen werden.

1961 wurde im sog. Nordfeld mit dem Abteufen des Schachtes Heitersheim begonnen, der eine Tiefe von 1 115 m erreichte; von ihm aus wurde auf der 850 m-Sohle eine Verbindungsstrecke zum Bugginger Grubenbetrieb in das Südfeld hergestellt.

Die beiden Sylvinit-Lager auf der sog. „Bugginger Horstscholle“ (oft fälschlich als „Diapir“ bezeichnet) wurden in einer Tiefe von 600 – 1 100 m abgebaut. Die westlich anschließenden Lager auf der „Grißheimer Scholle“ reichen bis 1 500 m und somit in eine Tiefe, die den Abbau – auch unter heutigen Kriterien – unwirtschaftlich macht.

Wichtigstes Wertmineral war Sylvin (Abb. 84). Der Gehalt an Kalium, angegeben als K_2O , schwankte meist zwischen 17 und 22 %, der durchschnittliche Gehalt lag bei 18,7 %. Im Vergleich mit den aktuellen Ergebnissen der mitteldeutschen Gruben sind diese Werte recht gut; hier liegen die durchschnittlichen K_2O -Gehalte um 16 – 17 %.

Aus den Salzlagerstätten bei Buggingen und Heitersheim wurden im Zeitraum 1925 – 1973 über 17 Mio. t Kalisalz gewonnen; die Fördermenge lag in den letzten Jahren im Mittel bei 600 000 t. Der Abbau erforderte vor allem aufgrund der starken tektonischen Zerstückelung des Lagers am Rand des Oberrheingrabens, aufgrund der wenig standfesten Nebengesteine aus Anhydrit- und Mergelstein und wegen des Auftretens von Methan (Schlagwettergefahr) hohe Aufwendungen. Dieser teure Bergbau und die Tatsache, dass weitere Vorräte in noch größerer Tiefe abgebaut werden müssten, machten den Kalisalzbergbau am Oberrhein letztlich nicht konkurrenzfähig gegenüber den Produzenten, welche die mächtigen und großen Lagerstätten in Mitteldeutschland nutzen können. Der Bergbau endete im Markgräflerland im Jahr 1973, im Elsass wurde er noch bis 2004 betrieben.

2.8.4.4 Sole

Als Sole bezeichnet man eine hochkonzentrierte Salzlösung, die natürlich oder künstlich entstanden ist. Zuerst nutzte der Mensch die natürlich gebildeten Solen, die durch den Kontakt von Grundwasser mit den Salzlagerstätten entstanden waren, später schaffte man bergmännische Hohlräume und Bohrungen, die mit Süßwasser beschickt wurden, um das Steinsalz zu lösen. In Schwäbisch Hall wurde die älteste, sicher belegte Sole- und Siedesalz-Gewinnungsstätte in Baden-Württemberg entdeckt (vgl. SIMON 1995). Die Funde wurden der Latène-Zeit (ca. 500 v. Chr. bis 0) zugeordnet. Auch im Mittelalter fand in Schwäbisch Hall Salzgewinnung statt. Die Saline von Hall entwickelte sich zur bedeutendsten Saline in Südwestdeutschland. Mit Einführung der Luftgradierung in der Mitte des 18. Jahrhunderts stieg die Produktion von 500 auf 5 000 t Salz pro Jahr. Der NaCl-Gehalt des Haalbrunnens in Schwäbisch Hall schwankte zwischen 30 und 100 g/l, was als sehr reichhaltige Sole galt. Mit Aufnahme der Bergwerksförderung aus dem Bergwerk Wilhelmshausen verlor die Sole als Rohstoff an Bedeutung, von nun an diente sie ausschließlich balneologischen Zwecken.

Tonscherben von Siedegeräten (sog. Briquetagen) wurden bei Offenau, Bad Wimpfen und Rappenaubach entdeckt; sie belegen, dass hier ebenfalls schon vorgeschichtliche Salzgewinnung erfolgte. Seit der Mitte des 18. Jahrhunderts stellt das Gebiet um Heilbronn mit drei großen Steinsalzbergwerken, fünf Salinen, zahlreichen Solebrunnen und um die 150 Solebohrungen das bedeutendste Salzgewinnungsgebiet in Südwestdeutschland dar (Abb. 170). Durch seinen Steinsalzreichtum hatte dieses Gebiet besonders im 19. Jahrhundert große politische Bedeutung. Die Saline Heilbronn wurde von 1880 bis 1944 betrieben.

Bad Rappenaubach: Bereits ein Jahr nach der Erbohrung des Steinsalzlagers in Bad Rappenaubach im Jahr 1822 begann die Siedesalzproduktion in der Rappenaubacher Ludwigssaline. Sie wurde erst 1973 „kaltgelegt“. Seither wird von den Rappenaubacher Kur- und Bäderebetrieben mittels zwei Bohrlöchern aus 211 m Tiefe vollgesättigte Sole ausschließlich für medizinische Zwecke und für den Badebetrieb gefördert.

Offenau und Friedrichshall (Abb. 170): Die Anfänge der neuzeitlichen Salzindustrie liegen in Offenau. 1756 wurde die Saline Clemenshall errichtet (CARLÉ 1968), 1848 wurde sie an die Saline Friedrichshall angeschlossen. Aus der Sole der Offenauer Bohrungen nördlich von Wimpfen, die über rd. 2 km lange Rohrleitungen herantransportiert wurde, und aus dem geförderten Steinsalz des Bergwerks



Friedrichshall wurden in der Saline Friedrichshall ab ca. 1880 rd. 270 000 Zentner Salz gesotten (SIMON 1995: 254, 319). Nach Einrichtung des Raffinaderwerkes in Kochendorf wurde die Pfannensaline in Friedrichshall 1969 kaltgelegt und die Soleförderung aus den Bohrungen nahe der Saline eingestellt.

Bad Wimpfen, Soleanlage Ludwigshalle: Östlich von Bad Wimpfen am Berg befindet sich die 1967 kaltgelegte Saline Ludwigshalle. Vier im Jahr 1818 abgeteufte, 142 bis 150 m tiefe Bohrungen, die sich unmittelbar an der Bahnlinie im Neckartal entlang der Saline Ludwigshalle aufreihen, erreichten das Salzlager, wodurch die Saline seit dieser Zeit über eine gesättigte Sole verfügen konnte. Aus zwei Bohrungen am Bahnhof Wimpfen, die 1907 abgeteuft worden waren, wird heute noch Sole für Heil- und Kurzwecke gewonnen (SIMON 1995). Die Solvay Fluor Derivate GmbH fördert noch Sole aus dem Fundbohrloch im Morsbachtal südlich des Wimpfener Bahnhofs. Es handelt sich um die letzte Soleförderungsanlage für industrielle Zwecke in Baden-Württemberg.

Anlagen bei Heilbronn (Abb. 170):

1. Soleanlage im Feld „Fresenius“: Diese vom Verein der Chemischen Fabriken Mannheim im Zeitraum 1880 – 1904 betriebene relativ kleine Anlage befand sich im Heilbronner Stadtteil Wohlgelegen am Neckar. Im nahe gelegenen Werk betrieb die Kali-Chemie AG eine Sodafabrik, in der die Sole aus den Soleanlagen II und III bis 1993 verarbeitet wurde.
2. Soleanlage I: Im westlich und südwestlich anschließenden Feld „Mannheim“ wurde ab 1903 eine Ersatzanlage für die ältere Soleanlage im Feld „Fresenius“ angelegt. Die Solebohrungen befinden sich 2,5 km südwestlich des Schachtes „Heilbronn“ – heute im Stadtteil Böckingen, westlich des Kanalhafens gelegen. Bis zum November 1930, dem Ende des Betriebes, wurden hier über 1 Mio. t Steinsalz ausgesolt (SIMON 1995).
3. Soleanlage II: Diese Anlage wurde von 1908 bis 1965 betrieben. Bis zur Stilllegung der Anlage wurden mittels 23 Bohrungen über 8 Mio. t Steinsalz durch Solung gewonnen. Aufgrund starker Bergsenkungen (s. DACHROTH 1983) wurde die Anlage aufgegeben; als Ersatz wurde die Anlage III angelegt.
4. Soleanlage III (Taschenwald): Diese Anlage liegt im Solefeld Kirchhausen-Massenbachhausen (Eigner: Land Baden-Württemberg)

und wurde von der Kali-Chemie von 1956 bis 1987 und dann von der Solvay Alkali GmbH bis 1993 betrieben (Abb. 170). Die Sole wurde nach dem Prinzip der Pistensolung aus dem basalen Abschnitt des Steinsalzlagers aus einer Tiefe von 190 bis 200 m gewonnen. Insgesamt wurden im Zeitraum 1957 – 1993 fast 40 Mio. m³ Sole gefördert, was der Lösung von 12,5 Mio. t Steinsalz entspricht. Die geförderte Sole wurde zur Sodaherstellung verwendet.

Rheinfelden: Das Steinsalz der Salinarfolge am Hochrhein im Gebiet Rheinfelden–Schweizerhalle–Riburg wird seit 1837 durch Förderung konzentrierter Sole aus Bohrlöchern intensiv genutzt; auf deutscher Seite endete der Solebetrieb mit der Stilllegung des Betriebes bei Rheinfelden (Baden) im Jahr 1993. Die eidgenössischen Salinen bei Riburg und Schweizerhalle produzieren noch heute jährlich rd. 300 000 bis 400 000 t Salz. Die hier genutzte, bis 100 m mächtige Halitgesteinsfolge des Mittleren Muschelkalks wird durch ein Dutzend Anhydritbänke und dolomitische Mergelsteine untergliedert (HAUBER 1993, FISCHBECK et al. 2003). Rund 95 % der schweizerischen Steinsalzproduktion stammen aus diesem Gebiet östlich von Basel.

2.8.5 Fluss- und Schwerspat (CaF₂, BaSO₄)

Vor bemerkungen: Im Schwarzwald treten viele Hundert Erz- und Mineralgänge auf. Die Nutzung der in den Hydrothermalgängen⁷ enthaltenen Erze von Eisen, Kupfer, Blei, Silber usw. geht in die keltische Zeit zurück und hatte besonders im Mittelalter, der frühen Neuzeit sowie im 18. Jahr-



Abb. 87 Grobspätiger Schwerspat vom Friedrichszecher Gang bei Freudenstadt (Bildbreite = ca. 20 cm).

⁷ Die Bezeichnung geht darauf zurück, dass die in Spalten angereicherten Minerale auf die Abscheidung aus heißen Wässern, also stark mineralisierten Thermalwässern, zurückgehen.

hundert große Bedeutung (WERNER & DENNERT 2004). Mitte des 19. Jahrhunderts stieg das Interesse an Schwerspat (Abb. 87), weil man das chemisch beständige Mineral für die Herstellung lichtechter Farben benötigte. Reiner Schwerspat ist in fein gemahlenem Zustand reinweiß.

Im 20. Jahrhundert begann man, sich für den auf gleicher Lagerstätte vorkommenden Flusspat (Abb. 88) zu interessieren. Auf der heute bereits 700 m tiefen Grube Clara bei Oberwolfach im Kinzigtal werden Fluss- und Schwerspat (auch als Fluorit und Baryt bezeichnet) und Silberfahlerze (Kap. 2.10) abgebaut. Eine Wiederaufnahme anderer Gruben im Nordschwarzwald wird aufgrund der gestiegenen Preise vor allem für Flusspat seit 2004 erwogen.

Wichtige Vorkommen, Bergbau: Zu den größten Ganglagerstätten Europas gehört der bis 30 m mächtige Flusspatgang der Grube Käfersteige bei Pforzheim, der mind. bis ca. 500 m unter Tage bauwürdige Mächtigkeiten und Gehalte aufweist (Abb. 89). Anders als die Gänge im Kinzigtal enthält er allerdings rd. 50 % Quarz. Der Abbau von Fluorit und Baryt begann bei Pforzheim im Jahr 1935. Der in den letzten Jahrzehnten auf die Herstellung von Säurespat ausgerichtete Abbau wurde 1997 eingestellt, vor allem weil die Flusspat-Billigimporte aus China für einen nachhaltigen Preisverfall sorgten (vgl. Abb. 180). Seit dem Jahr 2004 wird die Wiederinbetriebnahme der Grube Käfersteige in Erwägung gezogen.

Im Mittleren Schwarzwald ging im 19. und 20. Jahrhundert auf mehreren alten Gruben, in denen zuvor Erze gesucht worden waren, Spatbergbau um. In der Grube Friedrich-Christian-Herrnseggen bei Wildschapbach erfolgte bis 1953 Erzbergbau (Silber, Kupfer, Blei), danach wurde die Erzsuche eingestellt und man begann mit dem Abbau von Flusspat. Finanzielle Schwierigkeiten führten jedoch bereits 1955 zur endgültigen Schließung der Grube. Die Flusspatgrube Hesselbach bei Ödsbach ENE von Offenburg wurde in den 1950er und 60er Jahren betrieben.

Die bedeutendste Grube im Schwarzwald ist die von der Sachtleben Bergbau GmbH betriebene Grube Clara im Rankachtal bei Oberwolfach (Abb. 177). Sie ist das derzeit einzige in Betrieb befindliche Bergwerk in Baden-Württemberg, in welchem die Industriemineralien Fluss- und Schwerspat gewonnen werden. Genutzt werden mehrere tiefreichende Mineralgänge, welche sich zwischen dem Rankachtal und dem Hirschbachtal erstrecken⁸.

Seit dem Jahr 1726 werden die alten Grubenbaue – deren Anfänge in das Mittelalter zurückreichen –



Abb. 88 Würfelige Kristalle von klarem Flusspat, Grube Clara bei Oberwolfach (RG 7615-1; Bildbreite ca. 7 cm).

unter der Bezeichnung „Clara“ betrieben. Im Jahr 1850 begann der Kinzigtäler Bergwerksverein mit dem Schwerspatabbau. Der Bedarf an lichtechten und chemisch stabilen Farbstoffen, sog. „Lithoponen“, für die reinweiße Barytmehle benötigt werden, löste diese neue Bergbauphase aus. Mit Gründung der Schwarzwälder Barytwerke im Jahr 1898 begann die erfolgreiche und bis heute andauernde, kontinuierliche Bergbauaktivität.

Anfang der 1970er Jahre stieg erneut das Interesse am Mineral Fluorit. Eine Untersuchung von hangenden und liegenden Flusspatgängen, die in vom Schwerspat getrennten Gangstrukturen auftreten, wurde 1976 begonnen. Seit der Inbetriebnahme der Flusspatflotation im Jahr 1978 wird regelmäßig Fluorit auf der Grube Clara gewonnen (Kap. 3.8.4). Nach derzeitiger Kenntnis weist der durchschnittlich 3,5 m mächtige Schwerspatgang eine Länge von ca. 600 m und eine Tiefenerstreckung von mind. 700 m auf (Abb. 177); der Flusspatgang ist im Mittel 3 m mächtig, etwa 300 m lang und besitzt eine Tiefenerstreckung von

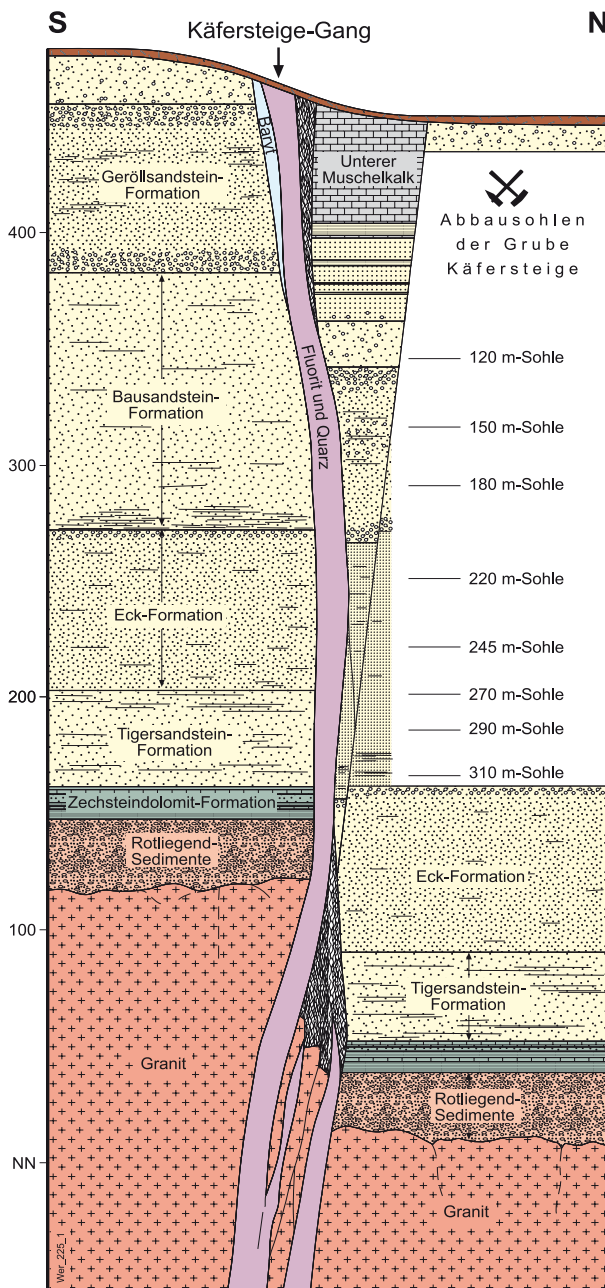


Abb. 89 Geologischer Schnitt durch den Käfersteige-Gang bei Pforzheim als Beispiel für einen auf einer großen tektonischen Störung aufsitzenden Schwer- und Flussspatgang im Schwarzwald.

ebenfalls mindestens 700 m (NELLES 2006). Die tatsächliche Tiefenerstreckung der einzelnen Gänge in der Lagerstätte Clara ist (noch) nicht bekannt.

Umfangreicher Fluss- und Schwerepatbergbau 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). Außerdem wurde bei Aitern, Grafenhausen bei Neustadt, Igelschlatt und Brenden (beide Kreise Waldshut-Tiengen) sowie in Brandenburg (Kreis Lörrach) Spatbergbau betrieben.

Verwendung: Die Verwendungsbereiche für die beiden so unterschiedlichen Minerale sind recht vielfältig. Folgende sind herauszuheben (für weitere Erläuterungen s. HAHN et al. 1999):

Schwerspatkonzentrat:

- Füllstoffe und Schallschutzmassen (textile Bodenbeläge, Automobilindustrie)
- Farbindustrie (stabile Anstrichfarben, Lithopone)
- chemische und Kunststoffindustrie (nicht brennbare Kunststoffe)
- Schwebbeton (strahlungsabsorbierend)
- Spachtelmassen
- Dichteregulator für Bohrspülungen (Erdöl-/Erdgasbohrungen)
- Trinkwasserreinigung (Sulfatreduktion)
- medizinische Diagnostik (Kontrastmittel)
- Papierindustrie (Barytpapier).

Flussspatkonzentrat:

- Flusssäureherstellung (Konzentrat mit > 97 % CaF_2)
- Erzeugung von synthetischem Kryolith (Na_3AlF_6) zu Zwecken der Aluminiumgewinnung aus Bauxit
- Metallurgie (Flussmittel für die Schlacke bei der Eisenerzverhüttung – daher der Name!)
- Keramik (Glasuren, Email)
- Glasindustrie
- Schweißtechnik
- Pflanzenschutzmittel
- Zahnpasta.

⁸ Fußnote zu Seite 68: Eine ausführliche Darstellung der Geologie und Bergbaugeschichte der Schwarzwälder Lagerstätten ist bei WERNER & DENNERT (2004) zu finden.

2.9 Energierohstoffe

2.9.1 Einführung

Energie aus der „Tiefe“ des eigenen Landes ist seit der drastischen Verteuerung der Erdöl- und Erdgaslieferungen und der nunmehr erkennbar gewordenen hohen Abhängigkeit von Lieferländern, die als unsichere Partner für die EU zu bezeichnen sind, ein fast allgegenwärtiges Thema in der Politik und den Medien (Abb. 90 bis 92). Glücklicherweise ist der Zustrom von Erdwärme, aus-

Der **Primärenergieverbrauch in Deutschland** lässt sich laut Rohstoffbericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR 2005) den einzelnen Energieträgern wie folgt zuordnen:

Erdöl	36,3 %
Erdgas	22,4 %
Steinkohle	13,5 %
Kernenergie	12,6 %
Braunkohle	11,4 %
Wasser- und Windkraft	1,2 %
Sonstige Energieträger	2,7 %

gedrückt im „geothermischen Gradienten“, in Südwestdeutschland höher als im übrigen Bundesgebiet. Vor allem im südlichen Oberrheingraben sind die Chancen zur Gewinnung geothermischer Energie mittels Bohrungen vergleichsweise günstig. Doch auch in den Erdölprospektionsgebieten im Raum Offenburg (s. u.), im sog. Nordgraben zwischen Mannheim und Wiesbaden oder auf der Schwäbischen Alb im Gebiet des „Schwäbischen Vulkans“ um Urach stehen die Chancen gut⁹. Der Vorrat an fossilen Energieträgern wie Torf, Braun- und Steinkohle sowie Erdöl und Erdgas ist hingegen im Vergleich zu Nord- und Mitteldeutschland gering (Abb. 93 und 94). Als metallische Energieträger sind die Uranerze zu nennen, die im Schwarzwald bereichsweise in wirtschaftlicher Menge und Konzentration anzutreffen sind. Aufgrund der mit der Gewinnung, Aufbereitung und Nutzung verbundenen Umweltproblematik ist es jedoch – trotz stark gestiegener Uranpreise – gegenwärtig wenig wahrscheinlich, dass die Uranprospektion in Baden-Württemberg wieder aufgenommen wird.

► **Abb. 90** Die im Jahr 1984 durchgeführte Erdölexplorationsbohrung „Fulgenstadt 1“ nordwestlich von Bad Saulgau-Diese von der Deutschen Schachtbau und Tiefbohr GmbH durchgeführte Bohrung wurde 1501 m tief und endete im kristallinen Grundgebirge (Aufnahme November 1984).

► **Abb. 91** Bohrung Sandhausen der Ruhrgas AG.

► **Abb. 92** Zeitungsausschnitt aus der Badischen Zeitung vom 27.12.2005: Neue Hoffnungen auf Erdöllagerstätten im Oberrheingraben.

2.9.2 Erdöl und Erdgas

Vorbemerkungen: Erdöl und Erdgas sind Kohlenwasserstoffgemische, die vorwiegend aus Aromaten, Paraffinen und Naphtenen bestehen. Darüber hinaus sind Schwefel, Stickstoff und Spurenelemente in diesen komplexen Gemischen vorhanden. Erdöl und Erdgas sind in geologischen Zeiträumen folgendermaßen entstanden: Im Wasser treibende tierische und pflanzliche Kleinstlebewesen (Plankton) sanken aus sauerstoffreichem Oberflächenwasser nach ihrem Absterben auf den Grund des Meeres- oder Seebeckens, wo sich wegen des Mangels an Sauerstoff mittels komplexer chemischer und biologischer Abbauprozesse Faulschlämme bilden konnten. Diese wurden mit anderen Sedimenten überlagert. Unter Zunahme von Druck und Temperatur setzte die Kohlenwasserstoffbildung im nun zum Gestein verfestigten Sediment ein (Erdölmuttergestein). Leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe (KW) wandern, sobald sich Wegsamkeiten eröffnen, allmählich aus dem Muttergestein ab und können sich an besonderen strukturellen oder gesteinsbedingten Hindernissen, sog. Fallen, ansammeln. In diesen Fallenstrukturen kommt es zu einer allmählichen Trennung von Erdöl, Erdgas und Wasser. In allen Lagerstätten findet man daher zuerst salziges Wasser, dann das „aufschwimmende“ Öl und darüber eine Gaskappe.

Es handelt sich jedoch nicht um große Hohlräume, in denen sich die KW ansammeln, sondern um poröse bis kavernöse Gesteine. In tektonisch aktiven Arealen, wie dem Oberrheingraben und dem Alpenvorland, sind die Fallenstrukturen aufgrund des hohen Durchtrennungsgrades der Gesteinsschichten durch permeable tektonische Störungen klein; es existieren daher oftmals viele kleine Lagerstätten in unmittelbarer Nachbarschaft (Abb. 95). Die aktive Tektonik und der relativ hohe Wärmezustrom aus dem Erdmantel führen zudem zu einem beschleunigtem Abbau und zur Abwanderung der Kohlenwasserstoffe.

⁹ Information und aktuelle Literatur zum Thema Geothermie sind zu finden unter: www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/fachbereiche/geothermie oder www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/home/leitfaden_erdwaerme.



Abb. 90



Abb. 91



Abb. 92



Bald auch ein vertrautes Bild in Südbaden? Ölförderung in Niedersachsen

FOTO: DPA

In Südbaden schlummert Erdöl

In Neuried bei Lahr will ein bayerisches Unternehmen das schwarze Gold aus der Erde holen / Hoher Preis macht Förderung rentabel

VON UNSEREM REDAKTEUR
THEO WEBER

NEURIED. Der hohe Erdölpreis auf dem Weltmarkt macht es möglich: Nach Informationen der Badischen Zeitung will im nächsten Jahr die Firma Drilltec Gut GmbH die im Untergrund Neurieds lagernden Erdölvorkommen anzapfen.

Das zum Firmenverbund Max Streicher

Barrel entspricht 159 Liter. Zu Zeiten der Ölkrise in der ersten Hälfte der 70er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts war bereits eine Ölförderung im Gespräch. Damals untersuchte die Firma Preussag (heute TUI) die Lagerstätten. Es gab Probebohrungen, der Erdölpreis lag damals allerdings trotz Krise zu niedrig, als dass eine Förderung wirtschaftlich gewesen wäre. Anders weiter nördlich im Oberrheingraben. Bei Landau in der Pfalz wird

Lagerstätten nochmals erkunden. Mit moderner Technik sei es möglich, Ölvorkommen exakter zu lokalisieren, sagt Wolfgang Werner vom geologischen Landesamt. Deswegen sei das Risiko von Fehlbohrungen viel geringer als noch vor zehn Jahren. Damit seien auch kleine Erdölvorkommen rentabel zu erschließen. Bald soll mit der Förderung des Erdöls begonnen werden. Erfolg versprechende Verhandlungen mit Raffinerien laufen

technisch. Schon länger bereits im Bereich Geothermie tätig, zählt seit diesem Jahr auch die Kohlenwasserstoffexploration zu den Geschäftsfeldern.

Einen Ölboom wie in Saudi-Arabien oder in Russland wird es in Südbaden dennoch nicht geben. „Dazu sind die Vorkommen im Oberrheingraben viel zu klein“, sagt Geologe Werner. Wie intensiv noch nach Erdöl gesucht wird, hängt für ihn von der weiteren Preisentwicklung

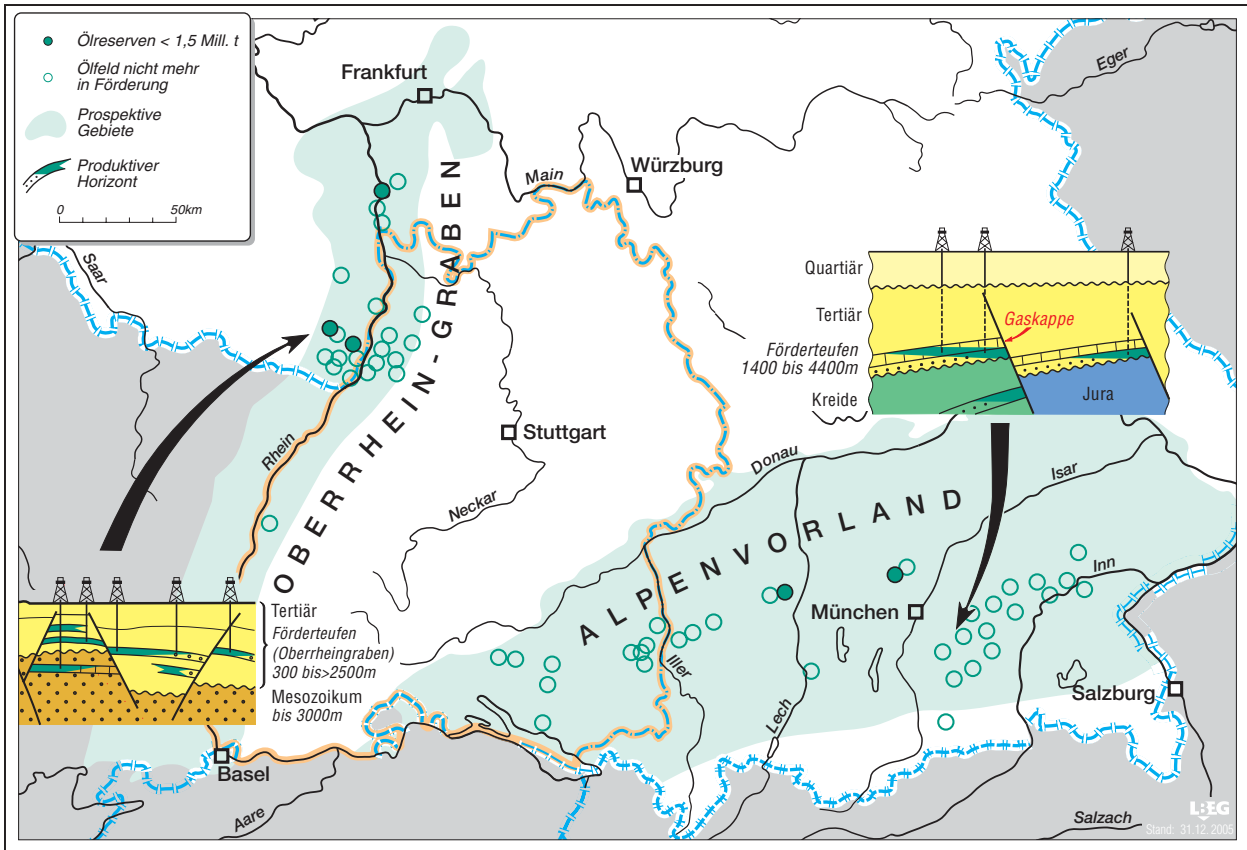


Abb. 93 Erdölvorkommen in Süddeutschland (Graphik: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover 2006).

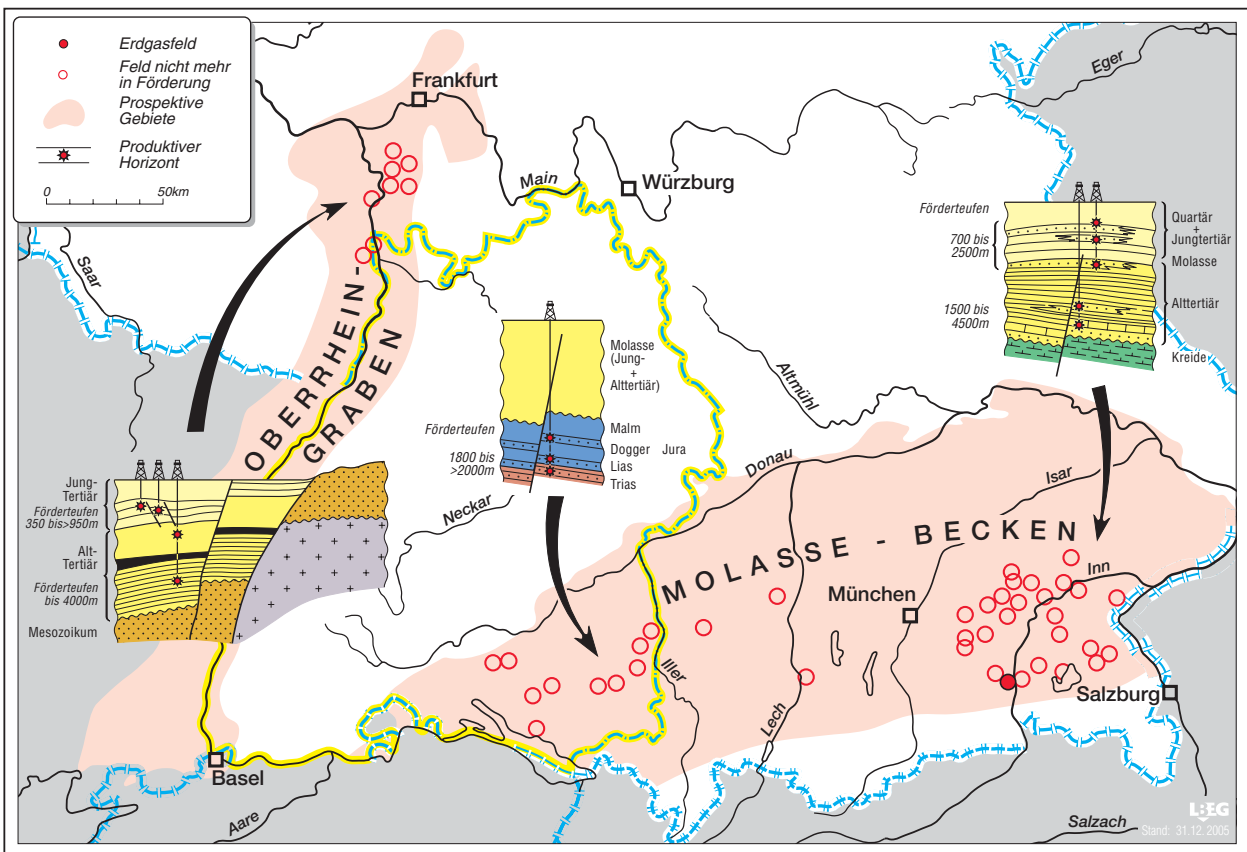


Abb. 94 Erdgasvorkommen in Süddeutschland (Graphik: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover 2006).



Wirtschaftliche Bedeutung und Verwendung: Erdöl ist mit einem Anteil von etwa 40% am Weltenergieverbrauch nach wie vor der wichtigste fossile Energieträger weltweit (Deutschland 36%, s. o.). In Raffinerien entstehen aus Rohöl Grundstoffe wie Benzine, Kerosine (Petroleum), Heizöle sowie verschiedene Destillate und Gase. Praktische Verwendung finden die Erdölprodukte vorrangig als Heizmaterial für Kraftwerke, Industrieanlagen und private Haushalte, als Kraftstoffe für Autos, Schiffe und Flugzeuge, als Schmierstoffe für Maschinen, für die Herstellung von Kunststoffen, Textilien sowie von pharmazeutischen und kosmetischen Produkten. Im Transport- und Verkehrswesen liegt der größte Erdölbedarf und der Verbrauch wächst weiterhin. Der Verbrauch an Erdöl und Erdgas ist zwischenzeitlich größer als die Menge neu nachgewiesener Reserven. Der Zenit der weltweiten Fördermenge dürfte also bald erreicht sein (Abb. 97).

Deutsche Förderung und Reserven: Die deutsche Erdölförderung, die sich auf 44 Felder verteilt und überwiegend aus dem Feld Mittelplate-Dieksand (Schleswig-Holstein) kommt, ist mit 0,1% im Weltmaßstab unbedeutend, für die eigene Versorgung aber sehr wichtig. Die beiden größten Erdölförderländer in Deutschland sind Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Die Erdgas- und Erdölgasförderung aus 82 Gasfeldern in Deutschland stellt etwa 0,7% der Weltförderung dar. Die Gasreserven von 270 Mrd. m³ machen etwa 0,2% der Weltgasreserven aus. Als Beiprodukt fällt bei der Entschwefelung des hauptsächlich aus den Fördergebieten zwischen Ems und Weser gewonnenen schwefelwasserstoffhaltigen Erdgases 1 Mio. t elementarer Schwefel an, der in die chemische Industrie geht (Angaben nach: BGR 2005). Baden-Württemberg verfügt derzeit weder für Erdöl noch für Erdgas über nachgewiesene, wirtschaftlich interessante Reserven. Die wieder angelaufene Prospektion im Oberrheingraben bei Offenburg wird daher mit großem Interesse verfolgt (Abb. 92).

Die deutsche Förderung von Erdgas lag 2005 bei fast 20 Mrd. m³, die Förderung von Erdöl bei 3,6 Mio. t; die Reserven liegen bei 255 Mrd. m³ Rohgas bzw. 46 Mio. t Erdöl (PASTERNAK et al. 2006).

Wichtige Vorkommen in Deutschland: Erdöl- und Erdgasfelder liegen in Schleswig-Holstein, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern sowie in Thüringen, im Oberrheingraben in Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg und dem alpinen Vorland, d. h. in Baden-Württemberg und Bayern (Abb. 93 bis 95). Die Speichergesteine im Oberrheingraben liegen vor allem im jüngeren Tertiär, die im Molassebecken im Vorland der Alpen reichen stratigraphisch bis hinab in die obere

Trias. Während in den süddeutschen Becken strukturelle und lithologische Fallen wichtig sind, sind die bedeutendsten Fangstrukturen in den norddeutschen Becken die Salzstöcke, in deren Flanken- und Dachbereichen sich Erdöl und Erdgas anreichern konnten.

Vorkommen in Baden-Württemberg: Oberrheingraben: Die Kohlenwasserstoffexploration im Oberrheingraben (ORG) begann in den 1940er Jahren, fand aber im Wesentlichen in der Zeit zwischen 1950 und 1992 statt. Untersucht wurden die Sedimentgesteine des Mesozoikums und des Tertiärs. Erster Auslöser waren die oberflächennah auftretenden Bitumenvorkommen bei Pechelbronn (Elsass). Die im Oberrheingraben weit verbreiteten, bituminösen „Schwarzschiefer“ der Pechelbronner Schichten (Alttertiär: Oligozän) stellen die wichtigsten Erdölmuttergesteine im ORG dar. Die derzeit produzierenden Erdöllagerstätten im ORG liegen in Rheinland-Pfalz und Hessen und befinden sich geologisch vornehmlich in Schichten des Eozäns und des Oligozäns. Bei Landau haben sich auch in Gesteinen des Muschelkalks und des Keupers Kohlenwasserstoffe in wirtschaftlicher Konzentration angereichert (PASTERNAK et al. 2006).

Es handelt sich bei den Kohlenwasserstoffvorkommen im ORG entweder um Fallen an tektonischen Störungen oder um Antiklinalstrukturen, also Aufsattelungen von undurchlässigen Schichten. Bei den tektonischen Fallen werden gut durchlässige, poröse Schichten an Störungen so versetzt, dass undurchlässige, meist tonige Schichten angrenzen und den weiteren Weg der KW versperren (Ausschnitt in Abb. 93). Die Bohrungen im ORG wiesen zumeist jedoch ungünstige Speicherqualitäten in den Keuper-, Rhät- und Lias-Sandsteinen sowie im Dogger-Beta-Sandstein nach, und oft war die abdichtende Wirkung an den Störungen zu gering, so dass nur geringe Kohlenwasserstoffmengen verblieben sind. Insgesamt erwies sich die wirtschaftliche Größenordnung der untersuchten Strukturen im baden-württembergischen Anteil des ORG als nicht ausreichend, um mit den Bohrungen fortzufahren. Die hohe Durchlässigkeit der tektonisch stark beanspruchten Gesteine und die durch den hohen geothermischen Gradienten beschleunigte Fluidzirkulation im Graben und in den Randgebirgen führten nachweislich dazu, dass das Erdöl aus den Pechelbronner Schichten sogar (in winzigen Einschlüssen in Mineralen) in den Erzgängen in den Gneisen des Schauinslands bei mehr als 1000 m NN zu finden ist (WERNER et al. 2002). Auch in Bohrkernen im Muschelkalk der Vorbergzone und in Steinbrüchen in den vulkanischen Gesteinen des Kaiserstuhls wurden häufig kleine Mengen von Kohlenwasserstoffen gefunden, was

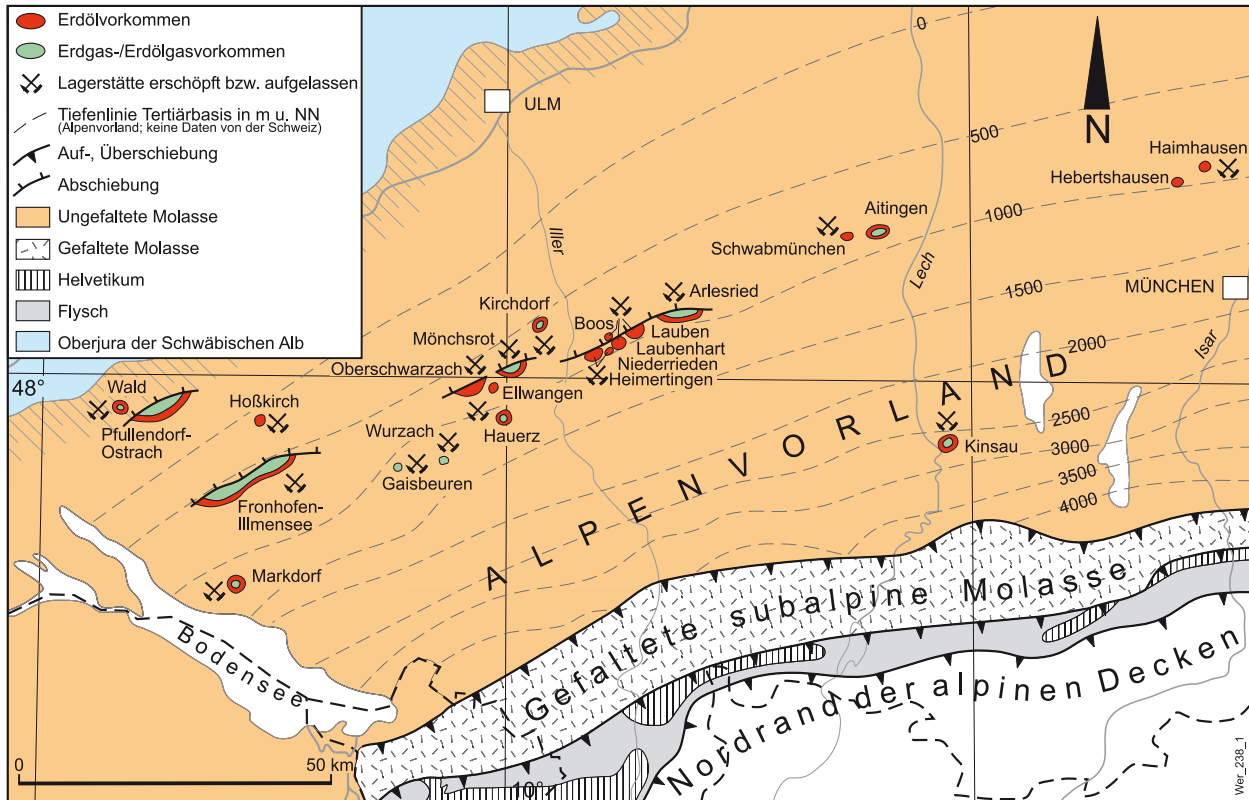


Abb. 95 Übersichtskarte zur Verbreitung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten im Molassebecken Süddeutschlands (aus: HEINZ 2002, Kartengrundlage: LBEG, Hannover).

belegt, dass große Mengen der einst vorhandenen Erdölmengen aus dem ORG bereits abgewandert sind. Legendar sind die Erzählungen der Bergleute aus dem früheren Wieslocher Blei-Zinkerz-Bergbaugebiet, die beim Vortrieb bisweilen auf ölgefüllte Hohlräume im Muschelkalk des Grabenrandes gestoßen sind.

Der Anreiz für die 2005 begonnene neue Explorationsphase bei Offenburg liegt in drei Faktoren begründet:

1. Die stark gestiegenen Erdölpreise
2. die Nähe zum Verbraucher
3. und vor allem die Möglichkeit, die Erkundungs- und Erschließungsarbeiten für Erdöl/Erdgas und heiße Wässer (Geothermie) zu kombinieren.

Erdöl/Erdgas-Erkundung im Raum Offenburg: Im Zeitraum 1950 – 1973 hielt die Gewerkschaft Elwerath eine Aufsuchungserlaubnis auf „Bitumen“, von 1975 bis 1992 explorierte die BEB Erdgas und Erdöl GmbH (Hannover) auf „Kohlenwasserstoffe nebst den bei ihrer Gewinnung anfallenden Gasen“. Bei Neuried wurden in den 1970er Jahren zahlreiche Bohrungen niedergebracht und an über 30 Löchern Pumpversuche durchgeführt. Häufig wurden heiße Wässer angetroffen, das Ölausbringen war gering. Als Beispiel sei die

Bohrung Offenburg 11 a angeführt, die in einer kleinen Faltenstruktur im östlichen Graben Öl mit einem Wasseranteil von 44 – 86% antraf. Aus 1160 m³ Nassöl wurden nur 140 t Reinöl gewonnen.

Selbstverständlich ist nicht auszuschließen, dass andere Faltenstrukturen günstigere Verhältnisse aufweisen. Seit 2003 wurden deshalb im Raum Offenburg mehrere Erlaubnisfelder auf Kohlenwasserstoffe, Sole und Erdwärme verliehen. Anfang August 2006 existierten vier Erlaubnisfelder, die auf alle o. g. Bodenschätze oder Kombinationen aus diesen verliehen wurden (Felder Neuried, Goldscheuer, Ichenheim und Offenburg). Ende Mai 2006 begannen bei Dundenheim, westlich von Offenburg, umfangreiche geophysikalische Untersuchungen. Untersucht wird ein fast 60 km² großes Areal zwischen Ichenheim und Goldscheuer. Ziel der Erkundung sind einerseits Faltenstrukturen, in denen sich Erdöl angesammelt haben kann, andererseits aber auch Thermalwässer, deren Energieinhalt für ein Geothermiekraftwerk genutzt werden kann. Die Auswertung der Ergebnisse wird sich bis März 2007 hinziehen. Mit ersten Tiefbohrungen bis ca. 1500 m Tiefe ist ab Sommer 2007 zu rechnen. Für das Explorationsprojekt der Fa. Drilltec werden Kosten von fast 40 Mio. Euro veranschlagt (Stuttgarter Nachrichten vom 15. Mai 2006). Seitdem bei Bruchsal ein mehr als 26 Jahre verfolgtes Geothermieprojekt im Oberrheingraben zum Erfolg geführt hat (Stuttgarter Zeitung vom 26.07.06), ist mit weiteren Untersuchungen auf Energiequellen im Oberrheingraben zu rechnen.



Oberschwaben: Die Exploration begann hier in den 1950er Jahren (Abb. 90 und 91). Die Erdöl- und Erdgasvorkommen im Alpenvorland befinden sich vornehmlich in der ungefalteten tertiärzeitlichen Molasse. Diese war auch in der ersten Phase das Hauptziel der Untersuchungen. Vor allem die über dem Mesozoikum liegenden porösen Bausteinschichten erwiesen sich als höffig (Abb. 96). Spätere Bohrungen stießen in größere Tiefen vor und trafen auch in Keuper-Sandsteinen, Karbonatgesteinen des Juras und der Trias, vor allem im Trigonusdolomit, Erdöl und Erdgas an.

Neue Explorationsarbeiten finden im baden-württembergischen Anteil des Molassebeckens noch keine statt, in Bayern werden seit einigen Jahren mittels 3D-Seismik, die eine deutlich höhere Auflösung als die alten Messverfahren erlaubt, aber neue Bohrziele gesucht (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft 2002).

Im baden-württembergischen Teil des Molassebeckens wurden während der ersten Bohrkampagne der 50er Jahre insbesondere Tertiär-Sandsteine in Tiefen zwischen 455 und 1232 m erkundet (SZENKLER & WERNER 2000).

Der Schwerpunkt der Untersuchungen in den Jahren 1964 – 1985 lag in den Gesteinen des Muschelkalks mit Bohrtiefen um 2000 m. Als Beispiel kann die Lagerstätte Fronhofen-Illmensee angeführt werden. Sie liegt im zentralen Teil des Bodensee-Permokarbon-Trogs bei Weingarten (HEINZ 2002).

Die Lagerstätte Fronhofen-Illmensee hat seit Beginn der Förderung 1965 bis zu ihrer Einstellung 1996/97 kumulativ rd. 0,6 Mio. t Erdöl und 1,8 Mrd. m³ Erdgas erbracht. Der Entölungsgrad betrug dabei nur ca. 8%, der Ausbeutegrad bei Gas lag dagegen bei über 90%.

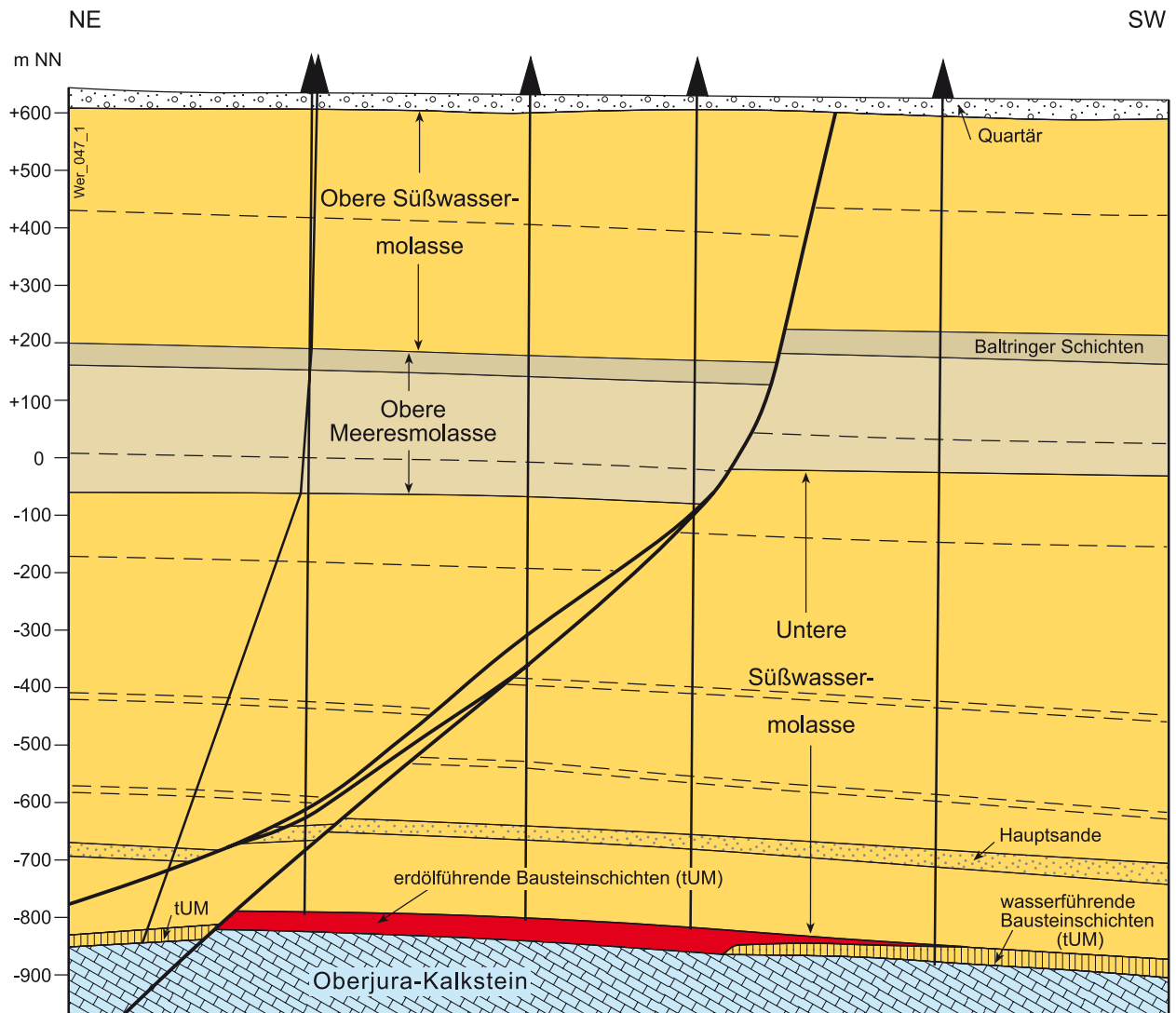


Abb. 96 Erdölexploration in Oberschwaben: Das Hauptziel in den 1950er Jahren waren die über dem Mesozoikum liegenden porösen Bausandstein-Schichten der Unteren Meeresmolasse.

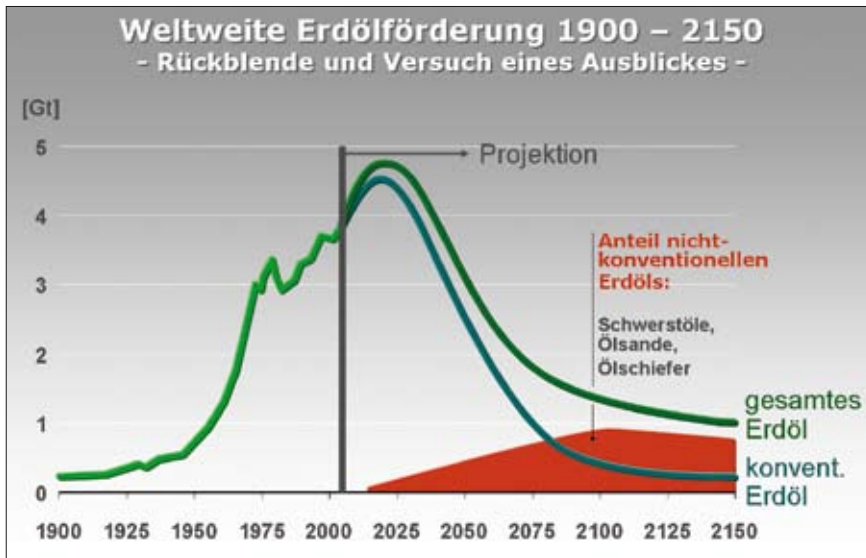


Abb. 97 Weltweite Erdölförderung seit dem Jahr 1900 und Prognose bis 2150 (Angabe in Gigatonnen. Quelle: BGR, Hannover).

Die Autoren der Graphik gehen davon aus, dass der Zenit der Förderung in ca. 20 Jahren erreicht sein wird. Viele Experten vermuten, dass die neu nachgewiesenen Mengen bereits deutlich geringer sind, als der aktuelle Verbrauch.

Die dunkelgrün gezeichnete Reservierkurve berücksichtigt auch die Erdölmengen, die aus Ölsanden oder Ölschiefern sowie aus bereits nicht mehr genutzten Lagerstätten durch Anwendung neuer Technologien vermutlich gewonnen werden können.

Seit 1997 dient die Lagerstätte Fronhofen-Illmensee als Erdgas-Untertagespeicher – zur Abdeckung von Verbrauchsspitzen und zur Sicherstellung der regionalen Versorgung. Zu diesem Zweck wird das aus dem osteuropäischen Raum per Fernleitung angelieferte Erdgas in eine etwa 10 m mächtige, poröse Gesteinsschicht des Trigonodusdolomits in rd. 1900 m Tiefe eingepresst. Dabei steht ein nutzbarer Speicherrinhalt von ca. 60 Mio. m³ zur Verfügung. In den Sommermonaten erfolgt vor allem die Gasinjektion, im Winter ihre Förderung. Der Speicher wird mit vier bis sechs vorhandenen Bohrungen an drei Standorten betrieben (HEINZ 2002). Die Betriebsführung liegt heute bei der Preussag Energie GmbH.

2.9.3 Ölschiefer

Vorbemerkungen: Ölschiefer sind dunkelgraue bis schwarze tonig-siltige Schichtgesteine. Der hohe Anteil an organischem Kohlenstoff von bis zu 16 Gew.-% bedingt die dunkle Gesteinsfarbe (Abb. 48). Eingeschaltet sind Kalksteinbänke und -linsen, die Eisensulfide Pyrit und Markasit treten feinverteilt auf. Die Ölschiefer wurden unter sauerstoffarmen Bedingungen in einem flachen, warmen Epikontinentalmeer mit stark reduzierter Wasserzirkulation abgelagert (RÖHL 1998). Das organische Material stammt überwiegend von Phytoplankton und Bakterien mariner Herkunft, die sich unter anoxischen Bedingungen anreichern konnten. Der süddeutsche Ölschiefer weist nach Analysen von KÜSPERT (1983) durchschnittlich 9,3% organischen Kohlenstoff C_{org} auf (min. 2,3%, max. 17,6%). In der organischen Substanz lassen sich extrahierbare flüssige Kohlenwasserstoffe, Asphalte und unlösliches Kerogen unterscheiden (s. Kap. 2.9.2).

Gegenwärtig findet in Deutschland keine auf Öl ausgerichtete Gewinnung von Schwarzschiefern statt. Die Ölschiefer von Dotternhausen werden, wie in Kap. 2.5 ausgeführt, vor allem wegen ih-

res Energieinhalts bei gleichzeitig günstiger mineralischer Zusammensetzung zur Herstellung von Portlandzement verwendet. Für die Kohlenwasserstoffextraktion verloren die Ölschiefer mit dem Ende des 2. Weltkrieges ihre Bedeutung, da zu dieser Zeit die Verschmelzungsanlagen durch billigere Erdölimporte nicht mehr konkurrenzfähig waren.

Wichtige Vorkommen: Eine für die Ölschieferbildung wichtige Phase in der Erdgeschichte war die des Unterjuras, der wegen seiner vielen dunklen Sedimentgesteine auch als „Schwarzer Jura“ bezeichnet wird. Wichtige Lagerstätten außerhalb Baden-Württembergs liegen in Niedersachsen (z. B. Lagerstätte Schandelah östlich von Braunschweig). Die bei Dotternhausen im Vorland der Schwäbischen Alb genutzten Ölschiefer des Unterjuras (Posidonienschiefer) enthalten im Mittel 9% Kohlenwasserstoffe. Beim Schwelen gehen etwa 40% in Rohöl über, so dass der gewinnbare Ölgehalt zwischen 4 und 4,5% des Gesteins liegt. Bei den industriellen Schwelverfahren ist die Ölausbeute generell noch geringer, da ein Teil des Öls beim Schwelvorgang verbrennt. Der Heizwert des Ölschiefers beträgt ca. 3400 kJ/kg. Es ist zu erwarten, dass die oberflächennahen Vorkommen von Posidonienschiefern, wie sie bei Dotternhausen und Dormettingen abgebaut werden, weniger Kohlenwasserstoffe enthalten als die überdeckten. Mischproben aus Kernbohrungen aus dem (nicht an der Tagesoberfläche aufgeschlossenen) Mittleren Posidonienschiefer auf Blatt Geislingen a. d. Steige erbrachten, dass hier der Anteil an organischem Kohlenstoff durchschnittlich 12 – 14% beträgt (WAGENPLAST & WERNER 2001).

2.9.4 Uranerz

Wichtige Vorkommen: Wirtschaftlich interessante Anreicherungen von Uranerzen treten nur im



Schwarzwald auf. Am bedeutendsten hinsichtlich der Urangelhalte ist die Ganglagerstätte Krunkelbach im Bärhalde-Granit bei Menzenschwand (Feldberggebiet), deren Entstehung auf den Zeitraum zwischen 300 und 280 Mio. Jahren datiert wird. Weitere, allerdings unwirtschaftliche Uranmineralisationen auf Gängen treten in den wismut-, kobalt-, nickel- und silberreichen Mineralisationen bei Wittichen, Reinerzau und Schiltach, also im Triberger Granit, und den Eisen-Manganerzgängen von Eisenbach auf. Für die an oberkarbonische kohlige Tonsteine und Arkosen gebundene Uranvererzung bei Müllenbach im Oostrog zwischen Baden-Baden und Gernsbach, welche nach Menzenschwand die zweitbedeutendste Uranvererzung im Schwarzwald ist, geht man von einer synsedimentären bis syndiagenetischen Urananreicherung aus.

Uranbergbau: In der Grube Krunkelbach bei Menzenschwand wurde von der Gewerkschaft Brunhilde im Zeitraum 1961 – 1991 (mit mehreren Unterbrechungen) Uranerz abgebaut, das hier in E–W bis NW–SE streichenden Hämatit-Baryt-Gängen auftritt. Der Gesamtvorrat soll etwa 5000 t Uranmetall beinhalten (KIRCHHEIMER 1982). Bis zur Stilllegung wurden in Menzenschwand 100000 t Uranerz gefördert, aus dem 720 t Urankonzentrat gewonnen werden konnten (LBA 1991). Die Förderung wurde nicht wegen Erschöpfung der Lagerstätte, sondern aufgrund massiver Widerstände aus der Bevölkerung und von Umweltverbänden eingestellt (ausführliche Darstellung bei STEEN 2004). Auf der Versuchsgrube Müllenbach wurden von der Fa. Saarberg Interplan im Zeitraum 1974 – 1982 bergmännische Auffahrungen mit vereinzelter Erzgewinnung vorgenommen; als nachgewiesene Vorräte wurden 1977 rd. 1500 t Uranoxid (U_3O_8) ermittelt (ERTLE et al. 1977).

2.10 Sonstige Rohstoffe

Neben den zuvor dargestellten Rohstoffen gibt es noch einige weitere, die aus unterschiedlichen Gründen aktuell nicht oder nur in sehr geringem Umfang genutzt werden, künftig aber wieder Bedeutung erlangen könnten. Teilweise handelt es sich um bekannte, derzeit auch abgebaute mineralische Rohstoffe, bei denen lediglich bestimmte Einsatzbereiche nahezu in Vergessenheit geraten sind, teilweise ist die Nutzung aus Rentabilitätsgründen (fast) eingestellt worden. Kurz vorgestellt werden: Torf, bituminöse Schwarzschiefer für Heilzwecke, Dolomitsteine bzw. -sande, Quarzrohstoffe, Bentonit und verschiedene Metallerze.

Torf: Torf ist ein organisches Sediment, das in Mooren entsteht (Abb. 98). Es bildet sich aus der

Ansammlung nicht oder nur unvollständig zersetzter pflanzlicher Substanz. In Baden-Württemberg liegen die meisten Mooregebiete in der Region Bodensee-Oberschwaben im Bereich von Jungmoränen, kleinere Hochmoore findet man auch auf den regenreichen Höhen- und Kammlagen des Schwarzwalds. Die genaue Lage und Ausbildung der Moore in Oberschwaben sind im Kartenwerk der „Moorkarte von Baden-Württemberg“ 1 : 50000 mit Erläuterungen erfasst (GÖTTLICH 1965–1980).



Abb. 98 Torfgewinnung in Oberschwaben (Pfrungener Ried zwischen Wilhelmsdorf und Königseggwald, Foto 1992).

Während großflächiger Torfabbau in den Mooren Norddeutschlands bereits im Mittelalter einsetzte, spielte dieser in Oberschwaben erst im ausgehenden 18. Jahrhundert eine Rolle, als die Wälder großflächig abgeholzt waren und alternatives Brennmaterial zur Holzkohle benötigt wurde. Weiter erhöht wurde der Torfverbrauch durch die Entwicklung torfbeheizter Dampflokomotiven, auch wurde mit dem Einsetzen der Grünlandwirtschaft im Allgäu zusätzlich Torf als Einstreu für Ställe benötigt. Nach dem Ersten Weltkrieg wurde der Torfabbau im industriellen Maßstab zur Brenntorfengewinnung durchgeführt (HEINZ et al. 2002). In heutiger Zeit wird Torf als Düngetorf und als Torfkultursubstrat für Gärtnereien, hauptsächlich jedoch als Badetorf für balneologische Zwecke in Kurbädern ver-

wendet. Während Torf früher gelegentlich auch als preiswerte Schlafunterlage diente (Torfbett), werden in jüngster Zeit Torffasern als natürlicher Rohstoff für Matratzen, Bettdecken und Kissen wiederentdeckt.

Moore werden heute in Regionalplänen i. d. R. als Vorrangbereiche für den Naturschutz ausgewiesen. So ist der Torfabbau in Baden-Württemberg nur noch im Reicher Moos bei Vogt zu Heilzwecken für Moorbäder zugelassen. Der Torfbedarf für die Kurbäder Oberschwabens wird hier durch den Zweckverband Reicher Moos gedeckt und ist bis 2030 gesichert (HEINZ et al. 2002).

Bituminöse Schwarzschiefer: Bituminöse Ton- und Mergelsteine, sog. Schwarzschiefer, könnten für die petrochemische und pharmazeutische Industrie wieder interessant werden. Der Posidonienschiefer des Schwarzjuras (Unterjura) war zuvor im Zusammenhang mit den Energie- und Zementrohstoffen behandelt worden; auch unter der Rubrik „Naturwerksteine“ spielt er durch die Fleins-Vorkommen bei Holzmaden eine Rolle. In ihm stecken aber noch zwei weitere, fast vergessene Anwendungsmöglichkeiten:

1. *In Schieferöl-Sulfonsäuren sind Ammonium-, Natrium- und Calciumsalze, die sog. Bituminosulfonate, enthalten, die aufgrund ihrer antiseptischen, entzündungshemmenden und resorptionsfördernden Wirkung zur Behandlung von Hautentzündungen und rheumatischen Erkrankungen verwendet werden. Die Fa. Zeller & Gmelin hatte bereits 1866 ein entsprechendes Präparat entwickelt (WAGENPLAST & WERNER 2001). Bekannt sind die Wundheilsalben „Ichthyol“ und „Ichtholan“, die den Wirkstoff Ammoniumbituminosulfat enthalten.*
2. *Eine weitere Verwendungsmöglichkeit für den Posidonienschiefer besteht im balneotherapeutischen Bereich, wo er als Heilschlamm unter der Bezeichnung „Jura-Fango“ oder „Posido-Fango“ eingesetzt wird. Das fein gemahlene Gesteinsmehl wird hierbei mit Wasser versetzt und erwärmt. Von therapeutischer Bedeutung sind die auf die Feinkörnigkeit des gemahlene Schiefers (ca. 60 – 70% <0,063 mm) zurückzuführende hohe Wasseraufnahmekapazität, die gute thermoisolatorische Wirkung des erhitzten Schlammes (langsame Abkühlung wegen der Feinkörnigkeit und des hohen Anteils von bituminöser organischer Substanz) sowie der in organischer Bindung vorliegende Schwefel. Bei Bad Boll wird seit 1933 der „Posido-Fango“ oder auch „Boller-Jura-Fango“ aus 12 m mächtigen, bituminösen Tonsteinschichten hergestellt und für balneotherapeutische Einsatzzwecke verkauft. Steinbruch und Fangowerk gehören seit 1994 der Gemeinde und der Kurhaus Bad Boll GmbH.*

Dolomitsande, Dolomitsteine: Sowohl im Mittleren und Oberen Muschelkalk als auch im Oberjura der Schwäbischen Alb treten Dolomitsteine auf,

die in Oberflächennähe oftmals zu Sand zerfallen sind. Viele alte Sandgruben auf der Schwäbischen Alb gehen auf diese dolomitischen Karbonatsande oder Dolomitsande zurück. Auf der Ostalb im Raum Bopfingen treten verhältnismäßig reine, graubraune Dolomitsteine auf (Abb. 99), die zzt. nur für den Verkehrswegebau, untergeordnet zur Düngung verwendet werden. Möglichst reine Dolomitsteine, also solche mit einem hohen Gehalt des Minerals Dolomit ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$), werden in der Glasindustrie (Flach- und Hohlgläser), der chemischen Industrie sowie der Eisen- und Stahlindustrie verwendet (LORENZ & GWOSDZ 1998). Nach vorliegenden Informationen aus der Betriebserhebung ist das Potenzial zur Gewinnung reiner Dolomitsande bzw. -steine für diese höherwertigen Einsatzbereiche in Südwestdeutschland bisher noch nicht geprüft worden.

Quarz: Quarz aus Quarzsanden oder quarzreichen Kiesen wird in Baden-Württemberg gegenwärtig nicht zur Herstellung von Weißglas oder von metallurgischem Silizium (Rohsilizium mit 99,5% Si-Gehalt) aufbereitet (Kap. 2.2.2). Relevante Abnehmer für reinen Quarz sind die Halbleiterindustrie, die Aluminium-, die Silikon- und die



Abb. 99 Dolomitsteine des Oberjuras. Steinbruch bei Bopfingen auf der Ostalb (RG 7128-1).



Solarzellenindustrie, die im Jahr 2005 rd. 190 000 t metallurgisches Silizium benötigten. Fast 90 % der benötigten Mengen kommen aus dem Ausland (BKS 2006). Nur ein Unternehmen in Bayern erzeugt aus Quarzkiesen und aus „Quarzit“ den erforderlichen Rohstoff. Die unter Kap. 2.2.2 beschriebenen Vorkommen bieten teilweise ein gutes Potenzial für eine solche hochwertige Anwendung, allerdings sind stets entsprechende Aufbereitungsverfahren zur Abtrennung anderer Minerale erforderlich. Der starke Rückgang in der Quarzsandnachfrage für die Glasproduktion durch die hohe Glasrecyclingquote hat zusammen mit dem generellen Nachfragerückgang für Baustoffe in den vergangenen 10 Jahren keine Anreize für die Firmen geboten, um in moderne Aufbereitungstechniken, z. B. mit lichtoptischer Sortierung, zu investieren. Als hochwertige Quarzrohstoffe sind noch die Quarzgänge im Schwarzwälder Grundgebirge zu erwähnen, die sich – wie der bayerische Pfahl – gut zur Gewinnung von reinem Milchquarz eignen würden. Das sog. Badenweiler-Quarzriff im Markgräflerland z. B. besteht aus einem mehrere Kilometer langen, bis 35 m mächtigen Quarzgang mit unbekannter Tiefenerstreckung. Weitere Vorkommen sind durch Prospektion einzuengen.

Bentonite: Als Bentonite werden Sedimente bezeichnet, die einen hohen Anteil an Smektiten aufweisen; dabei handelt es sich um quellfähige Schichtsilikate wie Montmorillonit. Der Einsatz dieser zu den Tonrohstoffen gezählten Materialien ist sehr vielfältig. Er reicht von der Lebensmittelindustrie, der chemischen und pharmazeutischen Industrie bis zur Bauindustrie (Gleit- und Stützmittel) und wird bei Tiefbohrungen, in Gießereien und Hüttenwerken verwendet. Die größten Lagerstätten von Bentoniten – es handelt sich um zersetzte vulkanische Tuffe tertiären Alters – treten in Bayern auf. Doch auch am Hohenstoffeln im Hegau wurden wirtschaftlich möglicherweise interessante Bentonitvorkommen mit Montmorillonitgehalten von 70 – 90 % nachgewiesen (SAWATZKI & SCHREINER 1991). Das Vorkommen „Sennhofweg“ ist 3 – 6 m mächtig und umfasst rd. 210 000 m³, weist also eine wirtschaftlich möglicherweise interessante Vorratsmenge auf.

Sedimentäre Eisenerze: Grundsätzlich sind drei verschiedene Typen von Eisenerzvorkommen in Baden-Württemberg anzutreffen, nämlich Bohnerzvorkommen in Karbonatgesteinsarealen (Schwäbische Alb, Dinkelberg), die Eisensandsteine des Braunen Juras und die Eisenerzgänge im Grund- und Deckgebirge des Schwarzwaldes – auf ihnen ging der älteste Bergbau Deutschlands schon vor rd. 7 000 Jahren um. Ein Potenzial für eine künftige Eisenerzgewinnung bieten aufgrund der Volumina und Lagerstättenhomogenität nur die nach-

folgend kurz erläuterten sedimentären Eisenerze, auch wenn ein Bedarf derzeit nicht erkennbar ist.

Die Eisensandstein-Formation, eine rd. 50 m mächtige Folge aus sandigen Tonsteinen mit mehreren, z. T. Eisenooide führenden Sandsteinkomplexen, enthält 2 – 3 m mächtige, sandig-tonige Bänke von Eisenoolith. Eisenträger ist das Eisenmineral Limonit (FeO(OH) x nH₂O). Die eisenhaltigen Sandsteinkörper entstanden im Flachmeerbereich entweder in einer nordöstlich gerichteten, flachen rinnenartigen Einmuldung des Meeresbodens oder als submariner, dünenartiger Strömungskörper, der z. B. den heutigen küstenparallelen Sandablagerungen in der Nordsee ähnelt. Am Oberrhein dürfte es sich ebenfalls um ein flaches Nebenmeer gehandelt haben. Ob die eisenhaltigen Lösungen, die durch die Verwitterung der Gesteine auf angrenzenden Festlandsbereichen freigeworden sind, durch Reduktion im Meerwasser selbst oder im Porenwasser des Sediments am Meeresboden entstanden, ist noch nicht geklärt (FRANK et al. 1975).

Das kalkreiche Eisenerz vom Nordrand der Schwäbischen Alb oder vom Westrand des Schwarzwalds diente beim Schmelzprozess im Hochofen als „Schlackenbildner“ und war vor allem beim Einsatz der wesentlich kalkärmeren bzw. -freien präkambrischen Bändererze aus Skandinavien, Brasilien und Südafrika wichtig. Der heimische Eisenerzbergbau bekam erheblichen Auftrieb, als durch den Versailler Vertrag von 1919 das wichtigste deutsche Eisenerzgebiet in Lothringen nicht mehr zur Verfügung stand. Schwerpunkte des Eisenerzbergbaus in Südwestdeutschland lagen danach am südlichen Oberrhein (Kahlenberg bei Ringsheim, Ortenaukreis, und am Schönberg bei Freiburg i. Br.) sowie bei Blumberg, Aalen, Wasseralfingen und Geislingen a. d. Steige. Der Abbau wurde bei Aalen-Wasseralfingen 1939, bei Freiburg-St. Georgen 1943, bei Geislingen a. d. Steige 1962 und bei Ringsheim 1969 aus wirtschaftlichen Gründen eingestellt, da höherwertige Eisenerze im Ausland (vor allem in Skandinavien, Brasilien und Südafrika) kostengünstiger gefördert werden.

Eine Wiederaufnahme des Eisenerzbergbaus ist in absehbarer Zeit nicht zu erwarten, weil die Erzflöze geringe Mächtigkeiten und hohe Quarzanteile (bei Geislingen durchschnittlich etwa 20 %) aufweisen und der Abbau – im Gegensatz zu den ausländischen Lagerstätten – nur durch untertägige Gewinnung erfolgen kann. Der hohe Kalkgehalt – früher von großem Vorteil – ist aufgrund neuer Verhüttungsverfahren auch nicht mehr erforderlich, um silikatische Eisenerze besser zu verhütten. Erwähnenswert aber ist u. a., dass die bei Ringsheim von der Barbara Erzbergbau GmbH angewendeten Erzaufbereitungsverfahren, insbesondere die Eisenanreicherung mit Starkfeld-Magnetscheidung, zur Anreicherung heimischer Armerze eines Tages wieder Bedeutung erlangen könnten.

Silber-Kupfer-Erze: Wenig bekannt ist, dass Baden-Württemberg über das derzeit einzige Bergwerk Deutschlands verfügt, aus dem ein silberhaltiges Kupfererz gefördert wird. Hierbei handelt es sich um das Mineral Fahlerz, ein Kupfer-Antimon-Arsen-Sulfid, welches auf der Grube Clara bei Oberwolfach auf Mineralgängen auftritt (Abb. 100 und 101). Der sog. Silberspat wird separat gewonnen und in der Aufbereitung der Sachtleben Bergbau GmbH in Wolfach seit 1997 durch eine spez. Flotationsstufe angereichert (NELLES 2006). Das Erzkonzentrat wird in einer ausländischen Hütte zur Gewinnung der Metalle weiterverarbeitet. Auf vielen Fluss- und Schwespatlagerstätten des Schwarzwalds und des Odenwalds treten silberhaltige Fahlerze auf, die bei der Gewinnung der Spate (Kap. 2.8.5) mitgewonnen werden könnten.

Andere Metallerze: Im Schwarzwald treten zahlreiche Vorkommen von zumeist hydrothermal gebildeten Erzen auf, aus welchen die Metalle Blei, Zink, Kupfer, Antimon, Wismut, Kobalt und Nickel gewonnen wurden (METZ 1977, 1980, BLIEDTNER & MARTIN 1986, WERNER & DENNERT 2004). Ein primär auf Metallerze ausgerichteter Bergbau hat aber nach heutiger Kenntnis über die Gänge im Schwarzwald und Odenwald keine Zukunftsperspektiven, die erwähnte Gewinnung als Beiprodukt jedoch durchaus. Die seit 1991 eingestellte Prospektion auf Metallerze im Erzgebirge wird gegenwärtig wieder aufgenommen – die zunehmende Verteuerung der Metallpreise wirft ihre Schatten voraus. Bei der anlaufenden Erkundung auf Fluss- und Schwespatgänge sollte



Abb. 100 Silberfahlerz (schwarz) in Schwespat, Grube Clara bei Oberwolfach (RG 7615-1).

also der Metallerzanteil Berücksichtigung finden. Denkbar ist auch, dass bei der Kies- und Sandgewinnung im Oberrheingraben geringe Goldmengen („Rheingold“) selektiert werden können. Entsprechende industrielle Aufbereitungsversuche werden seit über 80 Jahren immer wieder unternommen.



Abb. 101 „Bäumchen“ aus reinem Silber – Symbol für den Erzbergbau im Schwarzwald (Herkunft: Grube Sophia bei Wittichen im Zentralschwarzwald, Bildbreite = ca. 2 cm). Bei der Gewinnung von Fluss- und Schwespat aus den Hydrothermalgängen des Schwarzwalds können Silbererze und andere Metallerze als „beibrechender Rohstoff“ mitgewonnen werden.