

**Ludwig-Maximilians-Universität München**

Department für Geo- und Umweltwissenschaften  
Sektion Geologie  
Studiengang Geowissenschaften

## **Bachelorarbeit**

# **Grubenwasseraustritte und potentielle Grundwassergefährdungen in Bayern**

vorgelegt von  
Stefan Oertel

betreut von  
Prof. Dr. Christian Wolkersdorfer

Department für Geo- und Umweltwissenschaften  
Sektion Geologie  
AG Hydrogeologie und Umweltgeologie

München, August 2007

### Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

München, 31. August 2007

## Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Grubenwasseraustritten aus Bergwerken in Oberbayern und den damit einhergehenden Grundwassergefährdungen. Zuerst werden die ehemaligen und aktiven Abbaue aufgelistet und zu jedem eine historische und geologische Übersicht gegeben. Aus diesen Informationen werden die problematischen Elemente abgeleitet, die in das Grundwasser gelangen können. Unter Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse und chemischer Gesetzmäßigkeiten wird versucht die potentiellen Gefahren für das Grundwasser abzuschätzen.

## Abstract

This bachelor thesis deals with mine drainage from mines in Upper Bavaria and the related potential endangerments of groundwater. First of all, former and active minings are listed. An historic and geological synopsis is given to every mine. This information infers the problematic elements, which could infiltrate into the groundwater. With regard to the geological setting and physiochemical characteristics of each site, the potential risks are tentatively evaluated.

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>3</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
<b>2 BERGBAUE</b>	<b>9</b>
<b>2.1 EISEN</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1 KRESSENBERG</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.2 HISTORIE</b>	<b>9</b>
<b>2.1.1.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>11</b>
<b>2.1.2 LANDKREIS EICHSTÄTT</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2.2 HISTORIE</b>	<b>12</b>
<b>2.1.2.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>13</b>
<b>2.2 BLEI/ZINK</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1 RAUSCHENBERG</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>13</b>
<b>2.2.1.2 HISTORIE</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2 MITTENWALD</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2.2 HISTORIE</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>20</b>

<b>2.2.3 HÖLLENTAL</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>22</b>
<b>2.2.3.2 HISTORIE</b>	<b>23</b>
<b>2.2.3.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4 JENNER</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4.2 HISTORIE</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>28</b>
<b>2.3 MANGAN</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1 JENNER</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1.2 HISTORIE</b>	<b>28</b>
<b>2.3.1.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>29</b>
<b>2.4 SALZ</b>	<b>29</b>
<b>2.4.1 BERCHTESGADEN UND BAD REICHENHALL</b>	<b>29</b>
<b>2.4.1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>29</b>
<b>2.4.1.2 HISTORIE</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE DER SALZLAGERSTÄTTE BERCHTESGADEN</b>	<b>31</b>
<b>2.4.1.4 SOHLE DES BAD REICHENHALLER BECKENS</b>	<b>33</b>
<b>2.5 PECHKOHLE</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1 PEIßENBERG</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE</b>	<b>33</b>

<b>2.5.1.2 HISTORIE</b>	<b>33</b>
<b>2.5.1.3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE</b>	<b>35</b>
<b>2.6 WEITERE ABBAUE</b>	<b>36</b>
<b>3 POTENTIELLE GRUNDWASSERGEFÄHRDUNGEN</b>	<b>38</b>
<b>3.1 SAUERWASSERBILDUNG</b>	<b>38</b>
<b>3.2 EISEN</b>	<b>40</b>
<b>3.4 BLEI/ZINK</b>	<b>41</b>
<b>3.4 MANGAN</b>	<b>46</b>
<b>3.5 SALZ</b>	<b>47</b>
<b>3.6 QUECKSILBER</b>	<b>47</b>
<b>3.7 PECHKOHLE</b>	<b>48</b>
<b>4 SCHLUSSBEMERKUNG</b>	<b>50</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>51</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>57</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>58</b>

## 1 Einleitung

Bergbaubetriebe zählen weltweit volumenmäßig zu den größten Abfallproduzenten. Obwohl Oberbayern heute in Bezug auf Bergbau eine relativ unbedeutende Region ist, so wurde doch in früheren Jahren reger Abbau betrieben. Es existieren zahlreiche kleinere Rohstoffvorkommen, die vor allem am Alpenrand weit verstreut sind. Im Gegensatz zur heutigen Zeit war damals der verantwortungsbewusste Umgang mit der Natur noch nicht besonders stark ausgeprägt. Nach Beendigung der Abbauaktivitäten wurden die Grubengebäude verlassen und ohne weitere Beachtung der Natur übergeben. Durch die künstlich geschaffenen Hohlräume sind die natürlichen Grundwasserfließverhältnisse gestört. Die erhöhte Wasserwegsamkeit und die daraus folgende Oberflächenvergrößerung begünstigt die Auslaugung des aufgelockerten Gebirges (SCHMEDERER 1995). Die austretenden Grubenwässer aus aufgelassenen, aber auch aktiven Bergbauen stellen eine große Umweltgefährdung dar. So können Oberflächengewässer und das Grundwasser erheblich beeinträchtigt werden. Problematisch ist dabei, dass wegen fehlender gesetzlicher Bestimmungen die Datenlage über Grubenwasseraustritte, deren Beschaffenheit und den daraus folgenden Gefahren sehr schlecht ist. „Es ist jedoch davon auszugehen, dass in Europa mehrere 10.000 bis 100.000 Grubenwasseraustritte mit sauren Wässern existieren, von denen ein potentielles Risiko für die Umwelt ausgeht“ (WOLKERSDORFER et al. 2006). Um dem entgegenzuwirken hat der Rat der Europäischen Gemeinschaften eine Abfallrahmenrichtlinie erlassen, in der anfallende Rückstände aus dem Bergbau als eigene Abfallgruppe klassifiziert werden (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1997). Des Weiteren werden in der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie Grund- und Oberflächenwässer unter besonderen Schutz gestellt. Der Zweck dieser Richtlinie ist die Erhaltung, beziehungsweise die Verbesserung der Wasserqualität (RAT DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS 2000). Die Aufgabenstellung der Bachelorarbeit beinhaltet eine Erfassung der Grubenwasseraustritte in Oberbayern und eine Abschätzung des Gefährdungspotentials. Zuerst erfolgt eine kurze Zusammenfassung über die historische Entwicklung und die geologischen Verhältnisse der erschlossenen, ehemaligen Lagerstätten, um einen Überblick über die vorhandenen Erzminerale zu

erhalten, welche die chemische Zusammensetzung der Grubenwässer wesentlich beeinflussen können. Die Aufzählung ist nach den gewonnenen Elementen gegliedert. Im zweiten Teil soll anhand von chemischen Wasseranalysen abgeschätzt werden, wie groß die Gefährdung in Wirklichkeit ist. Dazu werden die chemischen Elemente, von denen eine Kontamination ausgehen kann, allgemein beschrieben und dann mit den Grubenwässern in Bezug gesetzt. Die Ergebnisse werden in einer Access-Datenbank zusammengefasst und mittels eines Geoinformationssystems visuell veranschaulicht. Grundlage der GIS-Anwendung bildet die Lagerstättenkarte von Bayern (SCHMIDT & WEINELT 1978) im Maßstab 1 : 500000. Die Daten sind der Arbeit auf einer CD beigelegt. Ziel der Bachelorarbeit ist es, herauszufinden wie ausgeprägt die aktuelle Informationsdichte ist und wo eventuelle Gefahren auftreten, um in späteren Arbeiten darauf aufbauend einen Gesamtgefährdungsplan für Bayern erstellen zu können.

Die Informationen zu den einzelnen Grubenwässern stammen aus der vorhandenen Fachliteratur und historischen Dokumenten, welche über die Literaturrecherche in Bibliotheken, Datenbanken und Besucherbergwerken ausfindig gemacht werden konnten. Des Weiteren mussten die entsprechenden Wasserwirtschaftsämter, das Bergamt Südbayern und das Landesamt für Umwelt kontaktiert werden, um eventuell bereits vorhandene chemische Wasseranalysen zu erhalten. Die in der Datenbank aufgelisteten Bergwerke und Stollen sind fortlaufend durchnummieriert und die Nummern im Text in Klammern hinter den betreffenden Lokalitäten angegeben.

Da der Rahmen einer Bachelorarbeit relativ eng gesetzt ist, musste das Thema dementsprechend eingeschränkt werden. Dies erfolgte sowohl regional, als auch thematisch. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich ausschließlich mit dem Regierungsbezirk Oberbayern. Zusätzlich werden, mit Ausnahme der Schürfe der südlichen Frankenalb, nur untertägige Bergwerke behandelt. Abbau von Kohlenwasserstoffen und Kohlebergwerke, außer dem Kohlebergwerk Peißenberg, werden nicht aufgeführt.

## 2 Bergbau

### 2.1 Eisen

#### 2.1.1 Kressenberg

##### 2.1.1.1 Geographische Lage

Die Eisenerzlagerstätte (ID 12) liegt Südwestlich von Teisendorf am Kressenberg, einem Vorläufer des Teisenberg-Massivs.

##### 2.1.1.2 Historie

Die erste Erschließung der Lagerstätte lässt sich heute nicht mehr genau rekonstruieren, vermutlich waren es die Römer, welche die Erze über Tage abbauten. Danach ist die geschichtliche Entwicklung durch zahlreiche historische Dokumente überliefert. Die erstmalige Erwähnung des Vogilwaldes, den Wäldern des Kressenberges, findet sich aus dem Jahre 958. Am 8. Juni 959 schenkte König Otto im Zuge der Ottonischen Schenkung Teile des Chiemgaus dem österreichischen Chorherren von Salzburg, sodass die Staatsgrenze direkt durch die Lagerstätte am Kressenberg verlief. Wegen dieser Grenzlegung kam es zu ständigen Streitigkeiten um die begehrte Lagerstätte. 1070 verlieh Kaiser Otto das Bergwerk an die St. Rupertuskirche in Salzburg, kam aber durch den Erhartinger Frieden 1254 und den Erhartinger Schiedsspruch 1275 wieder zurück zu Bayern, sodass die Grenze abermals mitten durch die Lagerstätte lief (HAGN & WELLNHOFER 1972; WINKLER 1990; WINKLER 1999).

Im Folgenden wird der bayerische, auch als ärarisch bezeichnete Bergbau kurz umrissen. Weitere Hinweise auf Bergbautätigkeit auf bayerischer Seite sind im Grundbuch, dem herzoglichen Urbarium, von 1300 verzeichnet, in dem berichtet wird, dass sich zwischen Molberding bei Siegsdorf und St. Johann an der Roten Traun ein Schmelzwerk befindet, sowie im herzoglichen Salbuch aus dem Jahre 1308, in dem zum ersten Mal das Bergwerk selbst erwähnt wird. Durch Heirat gelangte um 1360 das Geschlecht der Freyberger in Besitz des Bergwerkes. Im Zuge des bayerisch-pfälzerischen Erbfolgekrieges und dem Friedensschluss von Köln 1505 verlor Bayern wichtige Erzlager in Tirol. Dieser Umstand führte dazu, dass

die bayerischen Gruben erheblich an Bedeutung gewannen und viel Wert auf ihren Ausbau gelegt wurde. 1552 wurden Pankraz von Freyberg zu Hohenaschau und Wildenwarth die Berg- und Schürfrechte am Kressenberg verliehen. Unter der Aufsicht dieses bergbauerfahrenen Mannes blühte der Bergbau am Kressenberg auf. Um der Holzversorgung der Saline in Reichenhall nicht in die Quere zu kommen und den eigenen Bedarf zu sichern, musste Pankraz mehrmals seinen Schmelzofen samt Hammerwerk verlegen. Die Verhüttung der bayerischen Eisenerze fand in den Ortschaften Hammer (ehemals Au), Bergen und Aschau statt. Ab 1608 beteiligte sich Churfürst Maximilian I. von Bayern an der Erzgewinnung am Kressenberg. Infolge des Dreißigjährigen Krieges und des Spanischen Erbfolgekrieges nahm auch der Bergbau schwere Schäden. Als der bayerische Staat das Bergwerk wieder übernahm, war der Höhepunkt der Erzgewinnung bereits überschritten. Besonders die Transportschwierigkeiten gestalteten den Verkauf der Erze problematisch. Ein weiteres Hindernis stellte die Wasserführung dar, die man nicht in den Griff bekommen konnte. Im Gegensatz dazu existierte auf österreichischer Seite ein eigener Stollen zur Entwässerung. Die Bemühungen einen eigenen Entwässerungsstollen auf bayerischer Seite zu errichten, als auch Verhandlungen eines Zusammenschlusses der beiden Bergwerke, was technisch möglich gewesen wäre, führten zu keinem Erfolg. So musste der ärarische Bergbau 1881 eingestellt werden.

Bemerkenswert ist, dass die bayerischen Flöze und Stollen nach bayerischen Herzögen und Königen benannt wurden, während die Österreichischen Heilignamen trugen (Tabelle 1). Dies mag damit zusammenhängen, dass die Kirche von Salzburg der damalige Hauptaktionär war (HAGN & WELLNHOFER 1972; WINKLER 1990).

<b>Roterzflöze</b>	<b>Schwarzerzflöze</b>
Emanuel	Ferdinand
Albrecht	Karl
Max	Joseph
Sigmund	
Neues	
Christoph	
Marien	
Knappenhaus	
Ulrich	

Tabelle 1: Namen der Flöze am Kressenberg (aus SCHWARZ 1978)

Der salzburgische, auch gewerkschaftlich genannte Bergbau ging unterdessen seine eigenen Wege. Nachdem Kardinal Erzbischof Matthäus Lang 1537 die Eisengewerkschaft Achtal gegründet hatte, verlieh er an neun Gewerken das Berg- und Hüttenrecht. Waren 1650 noch alle Anteile in privater Hand, so gingen bis 1764 alle Anteile in den Besitz der Geistlichkeit und Salzburger Stiftungen über. Verhüttet wurden die Erze seit 1540 an der Saalach, im heutigen Hammerau, sowie ab 1543 in Röhrenbach. Im Jahre 1670 erbaute man noch einen Hochofen in Achtal. In den kommenden Jahren machten die Napoleonischen Kriege, Teuerungen und Hochwasserschäden auch dem österreichischen Bergwerk zu schaffen. Nach dem Friedensschluss von 1809 wurde ein Jahr darauf Salzburg und Berchtesgaden an Bayern angegliedert. Allerdings verblieb die Leitung des Bergwerkes noch bei Österreich. Um den Holzbedarf decken zu können, kaufte die Gewerkschaft 1861 die Herrschaften Hohenaschau und Wildenwart. Die auftretenden wirtschaftlichen Schwierigkeiten zwangen jedoch bald darauf zum Wiederverkauf der Herrschaften. Wegen des starken Preisverfalls von Eisen musste die Gewerkschaft Achtal 1919 das Bergwerk an den Bayerischen Bergärar verkaufen, doch auch die Wiedereingliederung in Bayern konnte den Niedergang nicht aufhalten. So wurde 1924 ebenfalls das Bergwerk Achtal geschlossen (HAGN & WELLNHOFER 1972; WINKLER 1999).

### 2.1.1.3 Geologische Verhältnisse

Die Eisenerze am Kressenberg sind in den Nummulitenschichten im Helvetikum eingelagert und als steil stehende Erzhorizonte ausgebildet. Entstanden sind die Anreicherungen durch Ausfällung von eisenreichen Lösungen am Meeresboden, wo sich Ooide bildeten (ANONYMOUS 1979). Verschiedene Merkmale der Sedimentation und ein Wechsel der Fauna innerhalb der Gesteinsschichten des Kressenberges weisen auf einen sinkenden Meeresspiegel während der Bildung hin. Vergleiche mit den Erzvorkommen am Haunsberg bei Salzburg ergaben, dass das Roterz wahrscheinlich im küstennahen Randbereich der Tethys gebildet wurde und die Schwarzerze zeigen einen mehrmaligen Wechsel des Wasserspiegels an. Im Gegenzug dazu nahm im oberen Eozän die Wassertiefe wieder zu (ZIEGLER 1983).

Durch tektonische Einengung, hauptsächlich in Nord-Süd-Richtung, sind die Flöze stark verschuppt, sodass sie teilweise vier bis sechs Mal hintereinander ausstrecken (GESELLSCHAFT ZUR AUFSUCHUNG VON BODENSCHÄTZEN IN BAYERN O. J.). Aber auch Nordost-Südwest verlaufende Blattverschiebungen haben stattgefunden, wodurch die Horizonte zum einen gegeneinander versetzt wurden, und zum anderen umbiegen. Solche Umbiegungen bezeichneten die Bergleute früher als Erzhaken (HAGN & WELLNHOFER 1972). Die Erzformation kann in drei Flöze gegliedert werden. Zum einen das Schmalflöz, aus dem oberen Paleozän, das Roterz des unteren Eozäns und das Schwarzerz des mittleren Eozäns (ZIEGLER 1983). Wirtschaftlich am bedeutendsten waren die Roterze, mit einem Eisengehalt von 18 % bis 22 % und die Schwarzerze mit bis zu 35 % Eisen (SPARY 1919).

## 2.1.2 Landkreis Eichstätt

### 2.1.2.1 Geographische Lage

Die Abbauspuren sind auf der südlichen Frankenalb im Landkreis Eichstätt verteilt.

### 2.1.2.2 Historie

Der Abbau von Eisen findet in Bayern schon seit der La-Tène-Zeit statt. Auf der südlichen Fränkischen Alb gibt es sehr viele Hinweise auf ehemalige Abbaue, die meist nur kurzfristig von bäuerlichen Unternehmen durchgeführt wurden. Die Gewinnung erfolgte vorwiegend über Tage. Einige Lokalitäten sind im Folgenden aufgeführt. In Oberbayern liegen die Abbaue Hirschgrube (ID 4) und Hirnstetterweggrube bei Pollenfeld, Krausgrube (ID 5) und Ludwigszeche (ID 6) bei Wachenzell, Müllerzeche (ID 7) bei Hirnstetten, Marienzeche (ID 8) bei Niefang, Hüttingerwaldgrube (ID 9) bei Niefang und ein Abbau in der Nähe von Schafshill (ID 10; HAGN & WELLNHOFER 1972).

### 2.1.2.3 Geologische Verhältnisse

Bei den Eisenerzen der südlichen Frankenalb im Bereich zwischen Berching und Weißenburg handelt es sich um Bohnerze. Diese wurden im Tertiär in marinem, terrestrischem, limnischem oder brackischem Milieu in Hohlformen und Karstlöchern sedimentiert.

## 2.2 Blei/Zink

### 2.2.1 Rauschenberg

#### 2.2.1.1 Geographische Lage



Das Bergwerk am Rauschenberg (ID 19), einem Ost-West verlaufenden Gebirgszug bei Inzell im Landkreis Traunstein, ist in drei Bergbaureviere gegliedert. Im Osten befinden sich der Joseph- und Barbarastollen unterhalb des Gipfels des Zenokopfes und westlich davon, unter dem Gipfel des Streichers, die beiden Reviere des Ewigganges und des Strahlecks. Das Erzvorkommen setzt sich am Staufen bei Bad Reichenhall fort, wo ebenfalls Stollen (ID 21) eingetrieben wurden (PÖVERLEIN 1984).

Abbildung 1: Ehemalige Bergbauhalde am Rauschenberg im Jahre 2002 (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de))

### 2.2.1.2 Historie

Die Anfänge des Bergbaus am Rauschenberg sind in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts zu suchen. Bereits um 1635 besaß ein Dr. Oswald eine Schmelzhütte in Inzell und betrieb vermutlich als erster in diesem Revier ein Bergwerk. In einem Verleihbrief aus dem Jahre 1636 ist daraufhin dem kurfürstlichen Stuckhauptmann Christian Schwarzer bewilligt worden, im Landgericht Traunstein für sechs Jahre Galmei zu schürfen. Allerdings brachte der Dreißigjährige Krieg jegliche Bergbautätigkeit zum Erliegen und alle Erkenntnisse gingen verloren, sodass später aus Schwaz in Tirol Bergknappen angeworben werden mussten, um den Bergbau wieder aufleben zu lassen. 1665 wird der Bergbau zum ersten Mal urkundlich erwähnt, als der kurfürstliche Zollner Paris Zehentner von Reichenhall den Befehl erteilt bekommt, ein Bergwerk zu errichten. Zu dieser Zeit existierten bereits drei Stollen in dem Gebiet, in dem später der Josephstollen eingetrieben wurde und in dem vorerst vorwiegend abgebaut wurde. 1666 erschloss man dann das Revier des Ewigganges. Da zur selben Zeit ein Bergwerk am Rauschenberg auf Blei-Zinkerze betrieben wurde, errichtete man 1669 in Reichenhall Verhüttungsanlagen, in denen die Erze gebrannt und daraufhin nach Salzburg verkauft wurden. Aufgrund der auftretenden Schwierigkeiten wegen mangelnder Erfahrung wurde der kurfürstliche Betrieb 1674 an den Kaufmann Peter Petzoli und den Galmeibrenner Paul Langburger als Lehensbetrieb übergeben. Im gleichen Jahr entstand am Fuß des Rauschenberges ein Schmelzwerk, aus dem sich der spätere Ort Schmelz bei Inzell entwickelte. In der darauf folgenden Zeit wechselten mehrmals die Besitzer, was dazu führte, dass teilweise Raubbau betrieben wurde. Als wieder reichlich Erze in den Stollen anzutreffen waren, kam das Bergwerk abermals unter kurfürstliche Aufsicht. Um 1700 geriet der Abbau ins Stocken, da immer weniger Erze gefunden wurden. Als sich jedoch die Abbautätigkeiten auf das Ewiggangrevier verlagerten blühte er erneut auf. 1704 fiel Bayern aufgrund des spanischen Erbfolgekrieges an Österreich, und somit stand das Bergwerk unter kaiserlicher Aufsicht, bis es 1715 an Bayern zurückgegeben wurde. Dies bedeutete jedoch auch, dass die finanzielle Unterstützung von österreichischer Seite wegfiel und enorme Zahlungsschwierigkeiten auftraten. 1721 brachte die Entdeckung der Erze des Strahlecker Reviers einen Aufschwung, auf den bald wieder eine schlechtere Phase folgte. Aus ebendiesem Grund musste in den achtziger Jahren ein Betriebsplan aufgestellt werden, der das weitere Vorgehen festlegte. Unter anderem war

vorgesehen, mehrere Unterbaustollen in der Teufe vorzutreiben, um an weiteres Erz zu gelangen, was aber zu keinem Erfolg führte, sodass im Jahre 1826 der Betrieb seitens des Staates eingestellt wurde. Es folgten weitere Versuche von Privatpersonen und Privatgesellschaften, welche erfolglos blieben. Als letzte Zeugnisse des Bergbaues sind 1925 die Errichtung einer neuen Knappenstube und einer elektrischen Förderbahn überliefert. Aus Sicherheitsgründen sind die meisten Stolleneingänge 1969 von der Bundeswehr zugesprengt worden (PÖVERLEIN 1984). „Die Lagerstätte kann heute als abgebaut gelten.“ (SCHNEIDER 1953) Eine Übersicht über die damaligen Stollen geben die Tabellen 2 und 3.

<i>Stollenname</i>	<i>Zeit des Vortriebs</i>
<b>Revier des Josephstollens</b>	
Josephstollen (mit Ober- und Unterbau)	1680 begonnen
Barbarastollen	(ältester Hauptstollen dieses Reviers)
Maximiliansstollen („Gotthardstollen“)	–
Heiliger Kreuzstollen	–
Wolfgangstollen	–
<b>Revier des Ewigganges</b>	
Der ewige Gang	1666 begonnen, von 1700 weitergeführt
Lorenzstollen	1706 begonnen
Karlstollen	1708 begonnen
Hasenbau	1714...1718
Abrahamstollen	–
Maria-Empfängnisstollen	1707...1718, 1796...1826
<b>Revier des Strahlecks</b>	
vier alte Strahleckerstollen	1721 begonnen
Sebastianstollen	1722...1746
Nepomukstollen	1728 begonnen
Amalienstollen	1736 begonnen
<b>Suchstollen</b>	
Unterer Stollen am kalten Brunnen	1684...1686
Johannisstollen am „Schneefleckl“	1684...1686, 1714...1715
Dreifaltigkeitsstollen am „Steinwändl“	1692 begonnen
Zwei Stollen am „Waldeck“	1711...1718
Heiliggeiststollen „in der Schrög“	1727 begonnen
Andreasstollen (auf der Schneid des Rauschenberges)	1727 begonnen
Suchbau am Plattling (Südgehänge)	1730
Michaelsstollen oberhalb des kalten Brunnens	1737...1739
Valentinsstollen (unterhalb der Strahlecker Gruben)	1737...1739

Tabelle 2: Verzeichnis der Stollen am Rauschenberg (aus REISER 1895)

<i>Stollenname</i>	<i>Zeit des Vortriebs</i>
Oswaldstollen	vor 1650 begonnen
Nonnerstollen (am Nonner Staufen)	1666 begonnen
Bennostollen	1692 begonnen
Danielstollen	1693 begonnen
Suchstollen (am vorderen Staufen)	1724 begonnen
Peter und Paulstollen (am Jochberg, Scheyernwald)	1736...1739

Tabelle 3: Verzeichnis der Stollen am Staufen (aus REISER 1895)

### 2.2.1.3 Geologische Verhältnisse

Die Vererzung am Rauschenberg befindet sich im lagunären Wettersteinkalk des Ladin (DOBEN K. & RISCH H. 1996), in einem Wettersteinzug am Nordrand der Berchtesgadener Schubmassen. Es handelt sich hierbei um eine diskordante Lagerstätte, welche an große, steilstehende Störungszonen gebunden ist, und somit nicht mit der faziellen Entwicklung des Oberen Wettersteinkalkes in Verbindung steht. Der ehemals darüber lagernde Wettersteinkalk samt konkordanten Erzen und dem, in diesem Zusammenhang typischerweise auftretenden Flussspat, wurde komplett erodiert (SCHNEIDER 1953). Die Erze gehören nicht der alpinen Metallogenese an und sind nicht zonengebunden an einen Pluton, sondern wurden exogen gebildet (MAUCHER 1954). „Die Lagerstätte kann als Prototyp für alle Blei-Zinkerzvorkommen im weiteren Umkreise der Berchtesgadener Schubmassen angesehen werden.“ (SCHNEIDER 1953) Den Nordabbruch dieses tektonischen Körpers durchzieht eine große, vererzte Störungszone, welche entlang dem Schichtstreichen auf einer Länge von 1250 m durch Stollen aufgeschlossen ist. Die Vererzung ist innerhalb dieser Störungszone auf einer Breite von 20 m recht unregelmäßig ausgebildet und wird durch Querstörungen oftmals versetzt. Das Ausmaß der Vererzung nimmt zur Teufe hin stetig ab. „Die Intensität der Vererzung haben deszendente oxydische Konzentrationsvorgänge bestimmt, die vor allen Dingen die leichter löslichen Zinkkarbonate und -hydroxide erfassten“ (Schneider S. 67). Die oxidischen Formen der Blei-Zinkerze sind vorwiegend in den höheren Bereichen der Lagerstätte anzutreffen, während die sulfidischen Erze eher in den tieferen Abbausohlen überwiegen. Typisch für die meisten diskordanten Blei-

Zinkvorkommen der nördlichen Kalkalpen ist das Auftreten von Vanadium und Molybdän in den Huterzen (SCHNEIDER, 1953).

Das Nebengestein ist tektonisch stark beansprucht und zeichnet sich durch große Karsthohlräume aus, welche bemerkenswerter Weise häufig sehr trocken sind (SCHNEIDER 1953). Folgende Minerale sind am Rauschenberg anzutreffen (Tabelle 4):

Mineral	Chemische Formel
Sphalerit	ZnS
Galenit	PbS
Greenockit	CdS
Smithsonit	ZnCO <sub>3</sub>
Hydrozinkit	Zn <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>
Aurichalcit	(Zn,Cu) <sub>5</sub> [(OH) <sub>3</sub> CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub>
Cerussit	PbCO <sub>3</sub>
Ilsemannit	Mo <sub>3</sub> O <sub>8</sub> [+aq+H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ]
Descloizit	Pb(Zn,Cu)[OHVO <sub>4</sub> ]
Hemimorphit	Zn <sub>4</sub> [(OH) <sub>2</sub> SiO <sub>7</sub> ]· H <sub>2</sub> O

Tabelle 4: Minerale des Bergbaues Rauschenberg (aus PÖVERLEIN 1984)

Sphalerit und Galenit sind die am häufigsten vorkommenden Minerale am Rauschenberg. Greenockit entsteht durch Verwitterung von Zinkblende und überzieht diese als Krusten. Ebenfalls als Krustenüberzug ist Hydrozinkit zu finden. Weitere, aber eher seltene Minerale sind Smithsonit, Aurichalcit, Cerussit, Ilsemannit, Descloizit und Hemimorphit (aus PÖVERLEIN 1984).

## 2.2.2 Mittenwald



Abbildung 2: Stollen am Riedbodeneck Mitte der 80er Jahre (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de))

### 2.2.2.1 Geographische Lage

Das ehemalige Bergwerk am Riedbodeneck befindet sich im Karwendelgebirge südlich von Mittenwald, in der Nähe des österreichischen Ortes Scharnitz, etwa 100 m von der Staatsgrenze entfernt.

### 2.2.2.2 Historie

Die frühesten Aufzeichnungen über Bergbautätigkeiten am Riedbodeneck gehen auf das Jahr 1476 zurück, des Weiteren finden sich Berichte aus den Jahren 1480 und 1487. Konkrete Hinweise auf den Abbau von Bleierzen treten mit der Erschließungszeit der bayerischen Bleibergwerke, von 1500 bis zum Dreißigjährigen Krieg im 17. Jahrhundert auf. Aus dieser Zeit stammen die alten Abbaue am Riedbodeneck (ehemals Riedberg) am Anfang des 16. Jahrhunderts und im Karwendel, von 1552 bis 1585, sowie ab 1620 im Graben der Rupfenvogel-Lähne (ID 18) in der Karwendelwand, auf einer Höhe von 1310 m. Diese Zeit ist charakterisiert durch Tagebaue auf die Ausbisse der Huterze, bis man dann auf Firstenstoßbau entlang der aufgelockerten Störungszonen überging.

Die zweite Bergbauperiode wurde mit der Erkenntnis der Bedeutung von Galmei und Zinkblende für die Messingherstellung und dem erstmaligen Einsatz von Schwarzpulver eingeläutet. Diese Blütezeit dauerte, unter Aufsicht der bayerischen Landesfürsten, von 1660 bis zum 18. Jahrhundert an und setzte sich nach einer kurzen Unterbrechung, unter anderem aufgrund von Erbfolgekriegen, von 1820 bis 1850 fort.

Bei der darauf folgenden Bergbauphase, die von 1870 bis circa 1900 andauerte, handelte es sich nur um einen scheinbaren Aufschwung. In dieser Zeitspanne gründeten sich mehrere neue Gewerkschaften, welche aufwändige Aufschlussarbeiten betrieben und einige Versuchsstollen auffuhren, um entlang von Störungszonen vermutetes Erz anzutreffen. So wurde zum Beispiel 1879 am Fuß der Ferchenseewände die Gute-Hoffnung-Zeche (ID 16), die zwei Stollen umfasste, angelegt. Da jedoch keine dieser Unternehmungen auf regelrechten Erfolg stießen, mussten die Betriebe alsbald allesamt Konkurs anmelden. So geriet der Bergbau am Riedbodeneck, welcher 1871 in Franz-Adolf-Zeche (ID 17) umbenannt worden war, abermals ins Stocken. Der letzte Versuch den Bergbau wieder zu beleben war die Errichtung eines Unterfahrungsstollens, welcher jedoch nur auf die, irrtümlicherweise als aszendent-hydrothermaler Erzgang interpretierte Hauptstörungszone traf, die sich als fast erzfrei herausstellte. So musste der Abbau 1923 eingestellt werden (PÖVERLEIN 1984).



Abbildung 3: Austretendes Grubenwasser am Riedbodeneck Mitte der 80er Jahre (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de))

#### 2.2.2.3 Geologische Verhältnisse

Die ehemalige Lagerstätte Riedbodeneck zählt, ebenso wie die am Rauschenberg, zu den diskordanten Vorkommen und stellt einen Übergangsbereich zu den schichtgebundenen Vererzungen des oberen Wettersteinkalkes dar. Sie befindet sich am Nordrand eines großen Überschiebungskörpers und ist deshalb stark an die tektonischen Vorgänge gekoppelt. Innerhalb tektonisch beanspruchter Gesteinspartien treten Bitumenrythmite ohne stratigraphischen Bezug auf. Die Erze sind in den Störungsflächenscharen als Nester angereichert. Zuerst setzte die Bildung der oxididischen Erze in Zusammenhang mit diagonalen

Blattverschiebungen ein, bevor daraufhin die älteren sulfidischen Paragenesen entstanden sind (SCHNEIDER 1953).

Die im Folgenden beschriebenen Minerale kommen im Bergbaurevier Riedbodeneck vor (Tabelle 5).

Mineralname	Chemische Formel
Galenit	PbS
Sphalerit	(Zn,Fe)S
Greenockit	CdS
Fluorit	CaF <sub>2</sub>
Siderit	FeCO <sub>3</sub>
Smithsonit	ZnCO <sub>3</sub>
Cerussit	PbCO <sub>3</sub>
Hydrozinkit	Zn <sub>5</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>
Wulfenit	PbMoO <sub>4</sub>
Hemimorphit	Zn <sub>4</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (OH) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O

Tabelle 5: Minerale des Bergbaues am Riedbodeneck (aus PÖVERLEIN 1984)

Das primäre Erz Galenit kann einen stark schwankenden Silbergehalt von 50 bis hin zu 1000 g Ag/t aufweisen. Sphalerit ist das am häufigsten auftretende Mineral und enthält nur maximal 0,6 Gewichtsprozent Eisen, weist aber einen relativ hohen Gehalt von bis zu 0,2 Gewichtsprozent Cadmium auf, weshalb sich lokal Greenockit als Sekundärmineral bildet. Fluorit ist nur in der Gute-Hoffnung-Zeche im Calcit eingelagert und zeigt eine deutliche Phosphoreszenz. In der Verwitterungszone der Huterze sind die Minerale Siderit, seltener Smithsonit, Cerussit, Hydrozinkit und Hemimorphit zu finden. In Hydrozinkitdrusen sind teilweise Wulfenitkristalle gewachsen (PÖVERLEIN 1984).

## 2.2.3 Höllental

### 2.2.3.1 Geographische Lage

Das Höllental befindet sich in einem der Haupttäler des Wettersteingebirges, unterhalb der Zugspitze. Südlich der Höllentalklamm wurde 1827 auf einem Bergrücken das Bergwerk Höllental (ID 15) auf einer Höhe von 1500 m NN erbaut.



Abbildung 4: Historische Postkarte des Höllentales (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de))

### 2.2.3.2 Historie

1854 verkaufte der damalige Besitzer Johann Baptist Biebel das Bergwerk an einen Münchener Unternehmer, woraufhin der Abbaubetrieb wegen Zahlungsschwierigkeiten des Käufers vorerst eingestellt wurde. Daraufhin führte Biebel 1859 das Bergwerk bis zu seinem Tod 1861 fort. Seine Witwe Wilhelmine Biebel, an die das Bergwerk überging, sah sich nicht imstande, den Abbau alleine fortzuführen, sodass dieser abermals zum Erliegen kam. In den darauf folgenden Jahren wurde das Erzvorkommen mehrmals lagerstättenkundlich untersucht. Jedoch blieben, vermutlich aufgrund der schwer zugänglichen alpinen Lage, neue Investoren aus (SCHWARZ 1992).

Erst 1907 fanden sich mit Martin Luttenbacher aus Straßburg und Paul Mayer aus Metz neue Käufer, die jedoch wegen finanzieller Schwierigkeiten das Bergwerk 1909 durch eine Zwangversteigerung an die Gewerkschaft Erlenbacher Erzbergwerke aus Weißenburg/Rheinpfalz abtreten mussten. Nachdem die Gewerkschaft ihren Betriebsplan veröffentlicht hatte, kam es alsbald zu heftigen Protestaktionen seitens der Bürger von Obergrainau gegen das geplante Großprojekt. Auf weiteren Widerstand traf die Gewerkschaft, als von der Forstbehörde 1910 die Errichtung eines Wasserkraftwerkes am Hammersbach, zur Gewinnung von Elektrizität, abgelehnt wurde. Im Jahre 1910 begann sodann die erste Bergbautätigkeit mit der Errichtung eines Zubringerstollens, wobei sich bei den Sprengarbeiten gleich der erste Betriebsunfall mit zwei Schwerverletzten ereignete. Auf einer Versammlung der Gewerkschaft gab diese bekannt, dass eine Rechnungsvorlage aufgrund vieler Unklarheiten nicht möglich sei und 1912 konnte eine angesetzte Zwangversteigerung noch im letzten Moment durch eine Gewerkenversammlung abgewendet werden. Unter diesen großen anfänglichen Schwierigkeiten wurde der Abbau im Juni 1912 endlich in Angriff genommen. Da man aber nicht in der Lage war, den Abraum ordnungsgemäß zu beseitigen und ihn einfach die Geröllhalde hinabkippte, wodurch die Wanderer unterhalb davon ernsthaft gefährdet wurden, kam es Ende des Jahres zum Eklat. Die weiteren Arbeiten wurden durch das Bezirksamt Garmisch wegen öffentlicher Sicherheitsgefährdung eingestellt und kurz darauf folgte die Konkursanmeldung der Gewerkschaft mit der Entlassung aller Arbeiter (SCHWARZ 1992).

Der Nachfolger wurde die Gewerkschaft Werdenfels im Jahre 1913 mit der schweizerischen Molybdän-Aktien-Gesellschaft als Geldgeber, sodass 1914 die Arbeiten wieder aufgenommen werden konnten. Ein Vertrag mit den Deutschen Molybdänwerken garantierte die Abnahme aller geförderten Erze. Als 1916 das Berliner Kriegsministerium Interesse an dem Bergwerk bekundete, schloss die Gewerkschaft einen Vertrag mit der Kriegsmetall AG Berlin, in dem eine teilweise militärische Kontrolle festgelegt wurde, um ein größeres Darlehen zu erhalten. In den kommenden Monaten wurden einige Erweiterungen der Bergwerksgebäude vorgenommen und Soldaten als zusätzliche Arbeitskräfte herangezogen. Wegen der schwierigen Arbeitsbedingungen und Verpflegungsengpässen kam es immer wieder zu Arbeiterunruhen, doch trotzdem nahm die Erzausbeute und die Förderung stetig zu. 1916 konnte durch die neue Maschinenzentrale der Abbau maschinell noch effektiver durchgeführt und neue Abaugebiete erschlossen werden. Das Bergwerk nahm immer größere Ausmaße an und die Belegschaft stieg auf 600 Mann. Heftige Schneefälle im Winter beeinträchtigten die Arbeiten, Arbeitsunfälle häuften sich und die Erzförderung nahm allmählich ab, sodass die Moral der Arbeiter sank. Ende des Jahres 1916 wurde das Bergwerk komplett unter militärische Kontrolle gestellt, da Molybdän für die Kriegsindustrie zur Herstellung von gehärtetem Stahl ein sehr wichtiges Metall war und die Vorräte des Deutschen Reiches sich dem Ende zu neigten. Die Belegschaft wurde auf die jemals höchste Anzahl von 654 Arbeitern erhöht, davon 363 untertage. Anfang 1917 musste festgestellt werden, dass die Lagerstätte größtenteils erschöpft war und keine weiteren Erzanreicherungen zu erwarten seien. Mehrere Gutachter hatten sich zuvor von den reichen Erzführungen im oberen Bereich verleiten lassen, viel zu optimistische Voraussagen zu treffen. Gründe dafür waren zum einen eine ungenaue Kenntnis und Fehlinterpretation der Genese der Erzminerale und zum anderen wurden die Gutachter von der Bergwerksführung bewusst getäuscht, indem den Bergmännern befohlen wurde qualitativ hochwertige Erze an der Ortsbrust zu deponieren. Die Erkenntnisse über das Ausbleiben der Erze hatte eine stetige Reduzierung der Belegschaft zur Folge, sodass diese im November 1917 nur mehr 19 Mann umfasste. Erneute Explorationsarbeiten erbrachten keine positiven Ergebnisse und somit wurde 1918 beschlossen, die militärische Leitung einzustellen und das Bergwerk der Gewerkschaft Werdenfels zu überlassen. So konnte die Gewerkschaft Anfang 1919 alleine mit den Arbeiten fortfahren, nachdem sie alle Kredite an die Kriegsmetall AG

zurückgezahlt hatte und dadurch einer bevorstehenden Zwangsversteigerung entgehen konnte. Das Programm für den Friedensbetrieb der Gewerkschaft Werdenfels sah vor, den Zubringerstollen zu einer Klammbahn für den Fremdenverkehr auszubauen, die Abfallprodukte der Aufbereitung als Kalk und Kunststein zu verwerten, sowie Strom und Erz zu verkaufen, um wieder Gewinn zu erzielen. Ein Beamter der Berginspektion München schrieb in einem Gutachten von 1921, dass die Gewerkschaft bereits die Hauptbestandteile des Bergwerksbetriebes verkauft habe und eine Wiederaufnahme der Bergbautätigkeiten kaum mehr möglich sei. 1922 verwarf die Gewerkschaft den Plan der Erzproduktion endgültig. Ab diesem Zeitpunkt konzentrierte sie sich auf Kunststeinerzeugung und mit dem Erwerb zweier bayerischer Kohlezechen ebenfalls auf die Kohlegewinnung. Zum einen erstand man die Grube Mauerzeche nahe Antdorf bei Penzberg und zum anderen die Allgäuer Friedrich-Wilhelm-Zeche bei Irsee. Dies wurde unter anderem durch einen allerletzten Kredit der Molybdän AG ermöglicht. Doch die Produktion von Kunststein dauerte nicht lange an. Wegen fehlender Nachfrage musste die Herstellung schon 1923 wieder eingestellt und die gesamte Belegschaft entlassen werden. Auch der Kohlegewinnung erging es nicht besser. Die letzte Erwähnung der Grube im Allgäu stammt aus dem Jahre 1923. Im folgenden Jahr musste die Grube bei Penzberg zwangsversteigert werden. Im März 1925 kam es dann zu der unabwendbaren Zwangsversteigerung des Bergwerkes Höllental und damit erlosch per Gesetz die Gewerkschaft Werdenfels, da sie über kein in Bayern gelegenes Bergwerk mehr verfügte. In den darauf folgenden Jahren wechselte das Bergwerk Höllental noch einige Male den Besitzer. Es wurde aber ab diesem Zeitpunkt endgültig kein Bergbau mehr betrieben, denn das Erzvorkommen war nur noch von mineralogischem Wert. Nachdem King E. Flaig aus Berlin das Bergwerk 1925 ersteigte, wurde es von der Bico Automobil AG aus Stuttgart erworben, 1928 von Bruno Benzow aus Berlin und 1931 von Josefine Radu, der Gattin des ehemaligen Bergwerkdirektors. Noch im Jahre 1985 ließ das Oberbergamt München verlauten, dass das Bergwerk auf unbefristete Zeit aufrechterhalten bleibt. In den kommenden Jahren sind ein Großteil der Stollen eingestürzt und nun nicht mehr befahrbar (SCHWARZ 1992).

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 6) sind alle aufgefahrenen Stollen des Bergwerkes Höllental aufgelistet:

<u>Stollenname</u>
Unterbaustollen
Johannesstollen
Fundgrube
Wilhelminenstollen
Madstollen
Mittelbaustollen
Tiefbaustollen 1
Tiefbaustollen 2
Tiefbaustollen 3

Tabelle 6: Auflistung der Stollen des Bergwerkes Höllental (aus SCHWARZ 1992)

### 2.2.3.3 Geologische Verhältnisse

Das Erzvorkommen im Höllental ist ebenfalls wie die zuvor beschriebenen Vorkommen diskordant, deszendent und es ist an eine Südwest-Nordost streichende Störungszone im Wettersteinkalk gebunden, bei der es sich um eine sehr alte tektonische Linie handelt, innerhalb der es zu vertikalen und horizontalen Versätzen gekommen ist. Die Störungszone fällt mit 45° bis 65 ° nach Süden ein. Zudem ist die tektonische Linie durch jüngere Bewegungen, welche nicht mit der Vererzung in Zusammenhang stehen, nochmals querversetzt. Das Erzvorkommen innerhalb der Störung erstreckt sich auf einer Länge von 250 m entlang des Streichens und ist durch den Bergbau auf einer Höhe von 100 m erschlossen worden. Die Breite der vererzten Störungszone beträgt in etwa 1,8 m, innerhalb der die Erze unregelmäßig auftreten. Der gestörte Bereich wird durch zwei Blätter begrenzt, wobei die Erzanreicherung hauptsächlich im Liegenden des hangenden Blattes angetroffen werden konnten. In den meisten Stollen lässt sich in den oberen Bereichen bis zu einer Tiefe von ungefähr 50 m ein rötlicher Verwitterungslehm mit bauxit-ähnlicher Zusammensetzung finden, der als eine Art Terra rossa gedeutet werden kann (SCHNEIDER 1953). In der Tabelle 7 sind die Minerale der ehemaligen Lagerstätte Höllental aufgelistet. Im Vergleich zu anderen Blei-Zink-Lagerstätten in Oberbayern tritt das Sekundärmineral Wulfenit stärker in den Vordergrund (LAUBMANN, 1924).

Mineral	chemische Formel
Galenit	PbS
Schwarzblei	PbS + PbCO <sub>a</sub>
Cerussit	PbCO <sub>3</sub>
Wulfenit	PbMoO <sub>4</sub>
Sphalerit	ZnS
Smithsonit	ZnCO <sub>3</sub>

Tabelle 7: Minerale des Bergbaues Höllental (aus SCHWARZ 1992)

## 2.2.4 Jenner

### 2.2.4.1 Geographische Lage

Die Abbauversuche (ID 22) liegen auf 1600 m NN am südlichen Abhang des Jenners bei Berchtesgaden (MAYER 1924).

### 2.2.4.2 Historie

Unterhalb der Königsbergalmhütten existierten einst ein Zechenhaus, eine Bergschmiede und ein Pochwerk, unterhalb dessen das Mundloch des Barbarastollens lag. Wann der Bergbau am Jenner begann ist nicht überliefert, jedenfalls muss es noch vor dem Jahre 1568 gewesen sein. Ab diesem Jahr sind die Gebäude schon in Karten verzeichnet. Dokumente von 1714 berichten über durchgeführte Schmelzversuche mit dem am Jenner gewonnenen Bleierzen. Eine Urkunde belegt 1717 den Verkauf des Bergwerkes an den Bergmeister Gg. Lindner. Als Berchtesgaden 1805 an Österreich fiel, wurden die Bergbauversuche ein Jahr darauf von staatlicher Seite wieder aufgenommen und bis 1809 weitergeführt, als Berchtesgaden wieder Bayern zugeteilt wurde. Danach setzte die bayerische Regierung den Bergbau fort. Allerdings waren die Hochgebirgslage und das geringe Erzvorkommen problematisch. Das Vorhaben, die Erzlagerstätte mit einem Tiefstollen von weiter unten anzufahren, scheiterte und so wurde der Abbau im Jahre 1819 eingestellt. Noch im Jahre 1924 war das Bergwerk im Besitz einer Gewerkschaft (MAYER 1924).

### 2.2.4.3 Geologische Verhältnisse

Die Vererzung ist im oberen Wettersteinkalk ausgebildet. Im Osten, am Torrener Joch, beginnt sie schon im Ramsaudolomit. Neben Bleiglanz ist auch Zinkblende zu finden (LANGENSCHEIDT 2001). Die Minerale sind in Gangklüften auskristallisiert (GÜMBEL 1861). Aus einem Dokument aus dem Jahre 1714 geht hervor, dass die Erze in seltenen Fällen bis zu 1,8 % Silber enthielten (MAYER 1924). Vermutlich handelt es sich in diesem Fall um dieselben alpinen Blei-Zink-Vererzungen, wie sie entlang der gesamten Nördlichen Kalkalpe zu finden sind. Ob es sich hierbei um eine schichtgebundene oder eine diskordante Lagerstätte handelt, lässt sich der Literatur nicht entnehmen.

## 2.3 Mangan

### 2.3.1 Jenner

#### 2.3.1.1 Geographische Lage

In den Berchtesgadener und Salzburger Alpen sind an mehreren Orten lokal begrenzte Manganvorkommen ausgebildet. Diese befinden sich am Jenner (ID 13) bei Berchtesgaden, am Nordrand des Tennengebirges bei Abtenau-Golling, am „Drachenloch“ bei Grödig und am Weißbach bei Lofer (GUDDEN, 1969). Die Kunigundzeche I befindet sich oberhalb der Krautkaseralm ([www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de)).

#### 2.3.1.2 Historie

Die ersten Untersuchungen der Manganerze nördlich des kleinen Jenner wurden 1856 und 1937/1938 durchgeführt. Zu diesem Zweck legte man kleinere Versuchsstollen an. Diese wurden in den Jahren 1954 bis 1960 im Auftrag der Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte, Sulzbach-Rosenberg-Hütte, auf insgesamt 400 m erweitert (GUDDEN 1969).

### 2.3.1.3 Geologische Verhältnisse

Stratigraphisch befinden sich die Erze im Schwarzen Lias, einer Gesteinsserie von Kieselschiefer und Kieselkalk aus dem mittleren und oberen Lias und sind synsedimentärer Entstehung (GUDDEN 1969). Die Manganzufuhr ist auf den Geosynkinal-Vulkanismus der Penninischen Zone zurückzuführen (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970). Während der Alpidischen Orogenese ist die Berchtesgadener Decke über die Tirolische Decke, in der sich die Manganerze befinden, überschoben worden. Aufgrund der tektonischen Bewegung wurden die Lias-Kalke zwischen dem Dachsteinkalk eingeklemmt und bilden den Muldenkern, an dessen Südrand die Manganerze ausstrecken. Diese Einengung und Aufschuppung bedingt eine schwankende Mächtigkeit von 2 bis 12 m. In der Regel liegt der Mangangehalt bei durchschnittlich 20 bis 30 % und kann sich auf bis zu 40 % erhöhen. Mit zunehmender Tiefe steigt der Rhodochrositanteil, welcher eine Feinschichtung aufweist. Aufgrund der starken oxidativen Verwitterung und der tektonischen Deformation ist eine Interpretation hinsichtlich der Genese und Erstreckung des Manganvorkommens schwierig. Es steht jedoch außer Frage, dass es sich um eine primäre Anreicherung von Mangan handelt, welche sich flözartig erstreckt, und nicht um oberflächennahe Verwitterungsbildungen der manganreichen Sedimente im Liegenden und Hangenden. Während der Untersuchungen konnten 100000 t Manganerz gesichert nachgewiesen werden (GUDDEN 1969).

## 2.4 Salz

### 2.4.1 Berchtesgaden und Bad Reichenhall

#### 2.4.1.1 Geographische Lage

Das Salzbergwerk Berchtesgaden (ID 24) befindet sich mitten im Ortskern von Berchtesgaden. Die dort gewonnene Sohle wird über die Sohleleitung nach Bad Reichenhall transportiert und dort in der Saline verdampft. In Bad Reichenhall wird mittels neun Bohrungen (ID 23) Natursohle aus dem Reichenhaller Becken gefördert und ebenfalls verdampft (ANONYMOUS o. J. a; SCHMID & WEINELT 1978).

## 2.4.1.2 Historie

Die früheste Nutzung der Salzquellen von Bad Reichenhall erfolgte wahrscheinlich bereits in der Bronzezeit 2000 bis 1000 vor Christus. Erstmalig findet die Lagerstätte zur Zeit des Agilofinger Herzogs Theodo II. im achten Jahrhundert Erwähnung. Am 13. Juli 1156 verlieh Kaiser Friedrich I. Barbarossa dem Stift Berchtesgaden das Salz- und Bergregal (ANONYMOUS o. J. a). 1194 wird die "salina ... Goldenpah" schriftlich vermerkt. An dem beschriebenen Gollenbach, nordöstlich des heutigen Bergwerksgeländes, wurde damals Sole gewonnen. Während des 12. und 13. Jahrhunderts fand die Aufbereitung der Sohle wahrscheinlich direkt vor Ort statt, erst später in der von 1213 bis 1805 betriebenen Saline Schellenberg, der 1555 errichteten Saline Fronreuth und ab 1816 in Reichenhall. Die Gründung des Salzbergwerkes Berchtesgaden fand 1517 mit dem Bau des Petersbergstollens durch Fürstprobst Gregor Rainer statt. Es folgten etwa 1550 der Grießstetterbergstollen als neuer Hauptstollen, 1559 der Frauenbergstollen und 1628 der Ferdinandbergstollen (KELLERBAUER 1996). Da die bayerischen Herzöge allmählich das gesamte Sudwesen übernahmen, besaßen sie bald ein Produktions- und Handelsmonopol. Aufgrund des großen Rohstoffverbrauches der Salinen waren die Wälder um Reichenhall so stark abgeholt, dass 1617 eine Soleleitung nach Traunstein und 1808 sogar bis nach Rosenheim gebaut werden musste, um die Sohle dort zu verkochen. In Berchtesgaden führte die Holzknappheit dazu, dass mit Österreich ein Vertrag abgeschlossen wurde, in dem geschrieben stand, dass von Berchtesgaden Saalforsten auf österreichischem Gebiet genutzt werden durften und im Gegenzug der österreichische Salzbergbau bis auf deutsche Seite vordringen konnte (ANONYMOUS o. J. a; KELLERBAUER 1996). Deshalb wurde am Dürrnberg (ID 25) von Österreich Salz gewonnen (SCHMID & WEINELT 1978). Die Saalforsten bei Lofer sind noch heute in bayerischem Staatsbesitz. Im Jahre 1815 wurde in der Wiener Schlussakte festgelegt, dass die ehemals selbstständige Fürstprobstei Berchtesgaden zu Bayern gehört. Im Zuge dieses Beschlusses wurde das Salzbergwerk der Königlichen General-Bergwerks- und Salinenadministration in München unterstellt. Die König Ludwigsbergsohle errichtete man 1826 (ANONYMOUS o. J. a; KELLERBAUER 1996). Im Jahre 1980 wurde das vom Werksleiter P. Ambatiello entwickelte, kombinierte Bohr- und Spül-Verfahren eingeführt, welches das herkömmliche Sinkwerksverfahren ersetzte. Dadurch konnten die Arbeitskosten um 77 % verringert und die Wirtschaftlichkeit der Solegewinnung um 72 % gesteigert

werden (AMBATIELLO & NEY 1983). Das Salzbergwerk Berchtesgaden und die Saline Bad Reichenhall sind bis heute noch in Betrieb und stellen die einzigen Salzlagerstätten in Bayern dar, die noch abgebaut werden (ANONYMOUS o. J. a).

#### 2.4.1.3 Geologische Verhältnisse der Salzlagerstätte Berchtesgaden

Der Salzstock von Berchtesgaden besitzt eine Länge von 4,5 km und eine Breite von 1,5 km. Die Höhe wird auf 600 m geschätzt, wobei 300 m davon unterteg erschlossen sind (LANGENSCHIEDT 2001).

Die Lagerstätte befindet sich im Haselgebirge, der ältesten Einheit der Berchtesgadener Decke, welches in der Regel den Abscherungshorizont bildet. Das Alter des Haselgebirges wurde auf Permoskyth festgelegt, allerdings konnte aufgrund der Überschiebung keine Untergrenze definiert werden.

Abgelagert wurde das Haselgebirge wahrscheinlich in einem Ost-West streichenden Grabenbruchsystem, in das die Tethys von Südosten ingrediert ist, sodass eine Wechselfolge von feinklastischen und evaporitischen Sedimenten gebildet wurde. An der Perm-Trias-Grenze setzte die Evaporitbildung durch die Ingression eines Flachmeeres und der Sedimentation der Werfener Schichten aus. Nach einer nochmaligen kurzen Evaporitbildung wurden die Reichenhaller Schichten im obersten Skyth/untersten Anis gebildet. Innerhalb der Reichenhaller Schichten treten evaporitische Sequenzen auf, welche oft Wechsellegerungen mit Karbonaten und einen geringeren terrigenen Einfluss zeigen. Während der alpidischen Orogenese zerbrachen die mit Evaporiten wechsellegernden Ton-Schluffsteine und das mobile Steinsalz umfloss diese, sodass eine "pseudokonglomeratische Struktur" im Haselgebirge entstand. Des Weiteren unterlagen die Ton-Schluffsteine einer hochgradigen Diagenese bis niedriggradigen Metamorphose und das mobilisierte Steinsalz rekristallisierte vollständig.

Die bedeutendsten Evaporitminerale der Lagerstätte sind primär durch Verdunstung von Meerwasser entstanden. Neben dem primären Steinsalz, welches hauptverantwortlich für den NaCl-Gehalt ist, kommt noch sekundäres Steinsalz vor, das rezent als Kristallsalz, in Klüften als millimeterdünnes Blättersalz und als Fasersalz ausgebildet ist. Anhydrit, das zweithäufigste Evaporitmineral kann primär in Flachwasserzonen gebildet, oder nach der Diagenese sekundär gebildet auftreten. Aus dem Anhydrit entsteht durch Aufnahme von Wasser Gips. Polyhalit entsteht primär aus kalium- und magnesiumreichen Laugen, sowie sekundär als

Faserpolyhalit (Tabelle 8). Neben diesen Hauptbestandteilen gibt es noch einige seltener Salzminerale, welche in der Tabelle 10 aufgelistet sind, sowie unbedeutende nichtsalinare Begleitminerale (Tabelle 9; KELLERBAUER 1996).

Mineral	chemische Formel
Halit	NaCl
Anhydrit	CaSO <sub>4</sub>
Gips	CaSO <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O
Polyhalit	K <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O

Tabelle 8: Evaporitische Hauptminerale des Salzbergwerkes Berchtesgaden (aus KELLERBAUER 1996)

Mineral	chemische Formel
Magnesit	MgCO <sub>3</sub>
Schwefel	S
Pyrit, Markasit	FeS <sub>2</sub>
Hämatit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Galenit	PbS
Chalcopyrit	CuFeS <sub>2</sub>

Tabelle 9: Nichtsalinare Begleitminerale des Salzbergwerkes Berchtesgaden (aus KELLERBAUER 1996)

Mineral	chemische Formel
Astrakanit	Na <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4 H <sub>2</sub> O
Symonit	Na <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4 H <sub>2</sub> O mit Na <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·4 H <sub>2</sub> O
Löweit	Na <sub>2</sub> Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·2 H <sub>2</sub> O
Mirabilit	Na <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·10 H <sub>2</sub> O
Thenardit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Kieserit	MgSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O
Hexahydrit	MgSO <sub>4</sub> ·6 H <sub>2</sub> O
Epsomit	MgSO <sub>4</sub> ·7 H <sub>2</sub> O
Eisen-Epsomit	MgSO <sub>4</sub> ·7 H <sub>2</sub> O mit FeSO <sub>4</sub> ·7 H <sub>2</sub> O
Glauberit	Na <sub>2</sub> Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>
Vanthoffit	Na <sub>6</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub>
Syngenit	K <sub>2</sub> Ca(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O
Pikromerit	K <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ·6 H <sub>2</sub> O
Sylvin	KCl
Tachyhydrit	CaCl <sub>2</sub> ·2 MgCl·12 H <sub>2</sub> O
Salmiak	NH <sub>4</sub> Cl

Tabelle 10: Evaporitische Nebenbestandteile des Salzbergwerkes Berchtesgaden (aus KELLERBAUER 1996)

#### 2.4.1.4 Sohle des Bad Reichenhaller Beckens

Die Sohle des Bad Reichenhaller Beckens entsteht durch Lösungsvorgänge der unterirdischen Salzlager. Einige Sohlequellen fördern Wasser mit einer gegenüber der durchschnittlichen Jahrestemperatur erhöhten Temperatur von 12 °C bis 14 °C. Daraus lässt sich anhand des geothermischen Tiefengradienten schließen, dass das Wasser aus einer Tiefe von etwa 300 bis 400 m stammen muss. Aus dieser Tiefe gelangt das Wasser, welches mit der Sohle in Verbindung steht, wegen der Süßwasserüberdrucksäule an die Oberfläche. Als Einzugsgebiet des Süßwassers ist der Nordhang des Lattengebirges anzunehmen. Von dort dringt es über Störungen in das Haselgebirge ein. Die Kontaktfläche zwischen dem Salzstock und den verkarsteten, wasserführenden Kalken verläuft wahrscheinlich senkrecht, da während der Überschiebung der Berchesgadener Decke über die Gesteine des Neokom das Haselgebirge nach oben ausgequetscht wurde. So kann das Wasser das Haselgebirge von unten nach oben, ähnlich einem Sinkwerk, auslaugen. Der unlösliche Laist sinkt nach unten und behindert dadurch nicht die weitere Auslaugung. Bei einer horizontalen Überlagerung der Kalke würde die Salzlösung unweigerlich unterbrochen werden, da der Laist eine wasserundurchlässige Schicht über dem Haselgebirge bilden würde (GILLITZER 1914).

### 2.5 Pechkohle

#### 2.5.1 Peißenberg

##### 2.5.1.1 Geographische Lage

Das Kohlebergwerk Peißenberg (ID 26) befindet sich südlich von Weilheim im Alpenvorland.

##### 2.5.1.2 Historie

Aus historischen Akten des Jahres 1598 geht hervor, dass ein Hans Maier aus Augsburg gemeinsam mit einem Georg Stange aus Sachsen von Herzog Wilhelm dem Frommen die Berechtigung erhielt, auf oberbayerische Kohle zu schürfen. Da sie aber den landesherrlichen Zehend nicht entrichteten, wurde ihnen 1603 dieses Recht wieder entzogen. 1796 gründete man die Oberländische

Steinkohlengewerkschaft unter Beteiligung des bayerischen Staates, welche am Brandbach, am südlichen Abhang des Peißenberges, Kohleabbau betrieb. Doch wegen erheblicher Probleme beim Abtrabsport der Kohle musste sich die Gewerkschaft schon zehn Jahre später auflösen. Am 8. Mai 1837 begann der Bau des von der General-Bergwerks- und Salinen-Administration beauftragten Hauptstollens, welcher 1840 erstmals auf ein Flöz stieß. Es folgte 1847 der Unterbaustollen und 1852 der Sulzerstollen, ein Versuchsstollen, der alsbald wieder aufgegeben werden musste. Ab 1856 verlagerte die General-Administration ihr Interesse auf die Erschließung des Kohlevorkommens bei Erbendorf, da dies von größerer wirtschaftlicher Bedeutung für den oberpfälzischen Erzbergbau und Hüttenbetrieb war. Aus diesem Grund entschied man sich zuerst für den Verkauf des Bergwerkes Peißenberg unter der Hand, dann für eine Versteigerung. Doch all diese Vorhaben blieben erfolglos, da sich keine Interessenten finden ließen. Deshalb blieb das Bergwerk weiter in Staatsbesitz. Bald darauf besserten sich auch die wirtschaftlichen Verhältnisse. 1857 entstand der Hermannstollen am Nordosthang des Peißenberges. Im Jahre 1868 legte man den Mittelstollen an, der als Hilfsstollen für den ein Jahr später erbauten Tiefstollen diente. Um die Verkehrsanbindung zu verbessern, bekam das Bergwerk 1875 einen Anschluss an die Bahnlinie Tutzing-Weilheim-Peißenberg. In den folgenden Jahren machte man sich daran, die Kohlevorräte genauer zu untersuchen. Im Zuge dieser Prospektionen wurden mehrere Erkundungsstollen aufgefahren, darunter auch am Bühlbach bei Peiting. Der Bahnanschluss hatte zur Folge, dass die Produktionsleistung unerwartet stark anstieg und damit die Lebensdauer des Tiefstollens sank. Da unterhalb des Tiefbaustollens keine neue Sohle angelegt werden konnte, wurde 1889 mit dem Bau zweier Unterbauschächte begonnen, welche 1895 in Betrieb genommen wurden. Einer diente der Förderung und der andere zur Wasserhaltung und Wetterführung. Eine große Qualitätssteigerung erreichte man mit der Einführung der Kohlewäsche 1905 und 1907, wodurch sich die Peißenberger Kohle gegenüber der böhmischen Kohle durchsetzen konnte. Zwischen Tiefstollenanlage und Unterbauschacht wurde 1912 ein weiterer Schacht, der Hauptschacht, abgeteuft und konnte nach anfänglichen Schwierigkeiten 1914 den Betrieb aufnehmen (ANONYMOUS 1937). Im Jahre 1971 wurde das Bergwerk Peißenberg als letztes der sieben Kohlebergwerke in Oberbayern geschlossen. Nachfolgend ist eine Zusammenstellung der bedeutendsten Grubenbaue von Peißenberg zu finden (Tabelle 11).

Grubenbau	Entstehungsjahr
Hauptstollen	1837
Unterbaustollen	1847
Sulzerstollen (Versuchsstollen)	1852
Hermannstollen	1857
Mittelstollen	1886
Tiefstollen	1869
Unterbauschächte	1889
Hauptschacht	1912
Schacht Peiting	1920
Wetterschacht	1937

Tabelle 11: Bedeutendste Grubenbaue von Peißenberg (aus ANONYMOUS, 1937)

### 2.5.1.3 Geologische Verhältnisse

Innerhalb der Faltenmolasse des bayerischen Alpenvorlandes existieren mehrere tertiäre Kohlevorkommen. Die Schichtenfolge der Peißenberg-Peitinger Kohleformation zählt, mit Ausnahme der miozänen Berghof-Schichten, zu den Cyrenenschichten des Oberoligozäns in der Unteren Süßwassermolasse und ist in Peißenberg mit einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 720 m ausgebildet (Tabelle 12).

#### Schichtbezeichnung

Obere Meeresmolasse

Berghof-Schichten (Miozän-Flöz)

Obere Bunte Molasse

Unterbau-Horizont

Becherstollen-Horizont

Oberer Sand

Zwischen-Cyrenenschichten (Flöz 1 bis 4)

Untere Süßwassermolasse

Unterer Sand

Produktive Cyrenenschichten (Flöz 5 bis 26)

Untere Bunte Molasse

Echelsbacher Flöz

Baustein-Schichten

Untere Meeresmolasse

Tabelle 12: Schichtenfolge der Peißenberg-Peitinger Kohleformation (aus LENSCH 1961)

Die für den Abbau bedeutendsten Flözhorizonte sind in der Schichtenfolge von den Produktiven Zyrenenschichten bis hin zum Unterbau-Horizont ausgebildet. Die Mächtigkeiten des Echelsbacher Flözes und des Flözes der Berghof-Schichten betragen nur wenige Dezimeter.

Während der Absenkung des Molassetroges wurde dieser mit Abtragungsschutt der Alpen aufgefüllt. Die Absenkung erfolgte jedoch nicht kontinuierlich, sondern war mit mehreren Stillständen verbunden, sodass sich ausgedehnte Moore bilden konnten. Zu den Zeiten der Senkung wurde der Ablagerungsbereich marin beeinflusst, sodass man davon ausgehen kann, dass dort wattenähnliche Verhältnisse mit einer relativ geringen Wasserüberdeckung herrschten. Anhand der Fossilführung zeigt sich, dass der Salzgehalt von Süßwasser bis Brackwasser schwankt. Im Peißenberger Flöz wurden die Kohlehorizonte an einigen Stellen durch Priole anerodiert. Aus der feinen Bänderung der Mergel und Kalkmergel der flözführenden Cyrenen-Schichten lässt sich schließen, dass dort ruhige Wasser und Sedimentationsverhältnisse vorlagen. Nach der Moorbildung kam es zu einer Unterbrechung der Absenkung des Molassetroges, und als Folge dessen fiel das Gebiet trocken, wobei die zurückbleibenden Lagunen aussüßten. Erst nach der vollständigen Aussüßung setzte die Kohleflözbildung über den Cyrenenmergeln ein. Die Kohlehorizonte sind sehr inhomogen aufgebaut. Je geringer der Abstand zum Meer war, desto schlechtere Wachstumsbedingungen lagen vor, was zu Vertaubungen und höheren Aschegehalten führte (LENSCH 1961).

## 2.6 Weitere Abbaue

In Oberbayern sind die Lagerstätten im internationalen Vergleich eher klein und unbedeutend ausgeprägt. Darum wurde Bergbau vor allem während des 16. bis 18. Jahrhunderts betrieben, als die Transportmöglichkeiten noch relativ eingeschränkt waren und die Rohstoffe aus der näheren Umgebung bezogen wurden. Mit zunehmender technischer Entwicklung erhöhte sich der Konkurrenzdruck, dem die oberbayerischen Bergbaue nicht gewachsen waren. Die zahlreichen Vorkommen wurden aus diesem Grund oft in bäuerlichen Betrieben abgebaut, wobei viele über das Stadium eines Versuchsstollens nicht hinaus kamen. Während der Literaturrecherche stellte sich somit das Problem, dass diese Abbaue oftmals nur sehr wage bis gar nicht überliefert worden sind. Es finden sich häufig nur kurze Andeutungen, jedoch keine genaueren Informationen, wie zum Beispiel zur exakten Lage, historische Daten, oder ob es sich um übertage oder untertage betriebenen Bergbau handelt. Der Vollständigkeit halber sollen diese Abbaue jedoch nicht unerwähnt bleiben.

Bereits GÜMBEL nennt einige Lokalitäten im Bergrevier München. So gab es bei der Jäger- und Nesselgrabenhütte im Trauchgebirge Versuchsbaue auf tonigen Eisenstein, welcher flözweise im Flysch eingelagert auftritt. An der Hammersbach-Alpe bei Garmisch wurde Brauneisenstein gewonnen. So auch unter dem Wendelstein an der Dickelsalpe (ID 1), am Breitenstein, am Blockstein und weiteren Lokalitäten. In Eisenerzgruben am Prunkkogel bei Schliersee gab es Bergbau auf eisenhaltigen Hornstein- und Eisenkieselschiefer. Weitere Gruben existierten bei Bayerisch-Zell im Arzmoos (ID 2) auf Brauneisenstein (GÜMBEL 1861) in der oberen Wendelstein-Einheit (WOLFF 1985) und an der Trockenlettenalpe auf Toneisenstein. Im ehemaligen Bergrevier Bergen errichtete man Versuchsbaue bei Neubeuern (ID 11) auf oolithische Eisenflöze der Nummulitenformation, Stollen in den Hundlöchern bei Eisenarzt auf Eisenerz, ebenso bei Eisenarzt beim Gallon am Wollsberge auf Eisenvorkommen ähnlich dem Kressenberg, Bergbaue auf den Fellern südwestlich des Kressenberges und bei Vachelung oberhalb der Leitenbachmühle auf Eisenerze in der Fortsetzung des Kressenberger Erzzuges (GÜMBEL 1861). An der Kesselbachalm (ID 0) bei Fischbachau sind alte Stollen auf zwei Eisenerzhorizonte im Wettersteinkalk zu finden, ebenso an der Roggentalgabel, am Wilden Freithof, an der Stuibensalpe, am Prediktstuhl, dem Benediktenwand-Gipfelkamm (SCHMID & WEINELT 1978), an der Glaswand in der westlichen Benediktenwand, am Risser Falk (SCHNEIDER 1953), dem Foggenstein, der Maggeswand und der Schnappenstaudacher-Alpe (SCHMID & WEINELT 1978). Des Weiteren gab es im 17. Jahrhundert am Müllnerberg nahe Kirchberg bei Reichenhall einen Versuchsbau auf Blei und Galmei, ebenso an der Hochplatte und Rötelwand bei Marquartstein, der Kampenwand (ID 3), am Kienberg bei Teisendorf, am Schnappen, im Starkgraben bei Traunstein, im Eschelmoos (MAYER 1924), am Frillensee (ID 20) nahe Inzell und am Roß-Kopf südsüdöstlich von Hinterstein (SCHMID & WEINELT 1978), an der Tillfuß-Alpe, im Grubenkar, am Lafatsch, am Vomper-Loch, am Hohen Gleirsch, am Katzenkopf, an der Solstein-Nordseite, in Zirl (SCHNEIDER 1953), sowie an anderen Orten, die in der Literatur nicht weiter aufgezählt werden. SCHNEIDER listet noch einen Abbau „in der Elmenau“ auf Blei-Zinkerze in den Partnachkalken- und Mergeln des Ladin und im Anis die Lokalitäten Höttiner-Graben, Mühlau, Thaur und Drist-Kopf auf (SCHNEIDER 1953).

Im Storgraben bei Siegsdorf schürfte man angeblich nach Kupfererzen (MAYER 1924). Am Gernerbach bei Klaff (ID 14), in der Nähe von Berchtesgaden, wurde einst

ein Versuchsstollen auf eine Pyrit-Mangan-Vererzung zwischen Radiolarit und Radiolarienkalk, in denen Manganoxid und Pyritnester enthalten sind, angelegt (SCHMID & WEINELT 1978). Der graue Radiolarit erhält seine Farbe durch fein verteilten Pyrit und ist im Liegenden der Serie ausgebildet (LANGENSCHEIDT 2001).

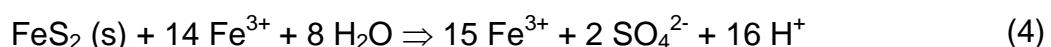
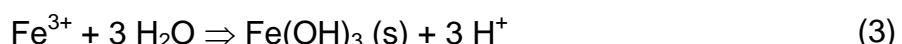
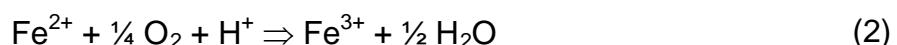
Während einer Sitzung der Akademie der Wissenschaften berichtete FLURL von Quecksilbervorkommen im Umfeld des Walchensees, und dass ein Versuchsstollen aufgefahrt wurde. Nach FLURLS Angaben brachte eine Quelle im so genannten Urfeld Spuren von gediegenem Quecksilber zu Tage. Das Quecksilber befindet sich in einer Tonsteinschicht innerhalb einer Kalksteinbank (MAYER 1924).

Ähnlich den Abbauspuren aus dem Landkreis Eichstätt befindet sich bei der Waldsiedlung Freising ein Schürfgrubenfeld, welches von dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz als Geotop ausgewiesen wurde (Geotop Nr.: 178G001). Es handelt sich hierbei um über 200 Gruben in der Oberen Süßwassermolasse. Im frühen Mittelalter wurden dort Limonit-Geoden gewonnen ([www.uok.bayern.de](http://www.uok.bayern.de)).

### 3 Potentielle Grundwassergefährdungen

#### 3.1 Sauerwasserbildung

Pyritverwitterung ist die Hauptursache für saure Grubenwässer, welche das größte Umweltproblem in Zusammenhang mit Bergbau darstellt. Die Verwitterung von Disulfiden, in der Natur durch die Minerale Pyrit und Markasit vertreten, bewirkt eine Erniedrigung des pH-Wertes und die damit verbundene Elementmobilisierung. Da nahezu jedes Gestein in Spuren Pyrit enthält, handelt es sich um ein weit verbreitetes Phänomen. Die Verwitterung läuft in mehreren Stufen ab:



Diese Reaktionen laufen unweigerlich ab, sobald  $\text{FeS}_2$ , Wasser und Sauerstoff gleichzeitig vorhanden sind. Aufgrund dieses merphasigen Ablaufes ist die

Reaktionskinetik relativ gering, da das bei Schritt (1) gebildete, zweiwertige Eisen bei anfangs noch hohen pH-Werten zu dreiwertigem Eisen oxidiert (2) und ausfällt (3). Die Hydrolyse von Disulfid setzt zwei Protonen frei, was den pH-Wert erniedrigt. Sobald der pH-Wert unter 3,5 sinkt, bleibt Eisen vorwiegend gelöst (Abbildung 5), sodass die Reaktionen (2) und (4) ab diesem Zeitpunkt sich gegenseitig verstärken und die Verwitterung schneller abläuft (FÖRSTNER & GRATHWOHL 2007).

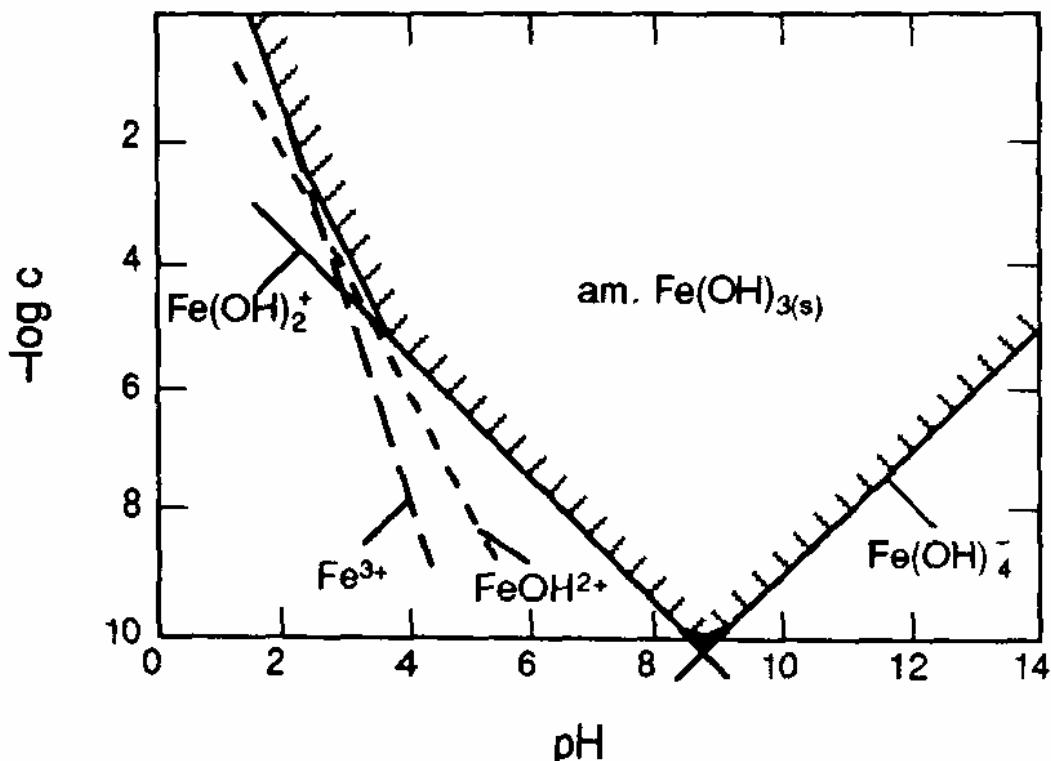
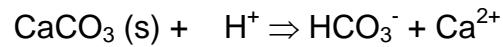
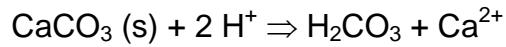


Abbildung 5: Löslichkeit von Eisen (aus SIGG & STUMM 1989)

Bei pH-Werten um 4,5 beschleunigen die acidophilen, chemolithoautotrophen Bakterien *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Gallionella* und *Thiothrix* die Reaktionen (1) und (2) um das  $10^6$ -fache. Die Bakterien, welche durch die Oxidation von Schwefel sehr viel Energie gewinnen, können allerdings die Reaktionen nur katalysieren, aber nicht auslösen. Die Reaktionen laufen so lange ab, bis der gesamte Pyrit aufgebraucht ist. Das Problem besteht darin, dass der pH-Wert als Mastervariable die Freisetzung und Löslichkeit von Metallen bestimmt. Bei niedrigen pH-Werten ist die Löslichkeit, sowie die Mobilität und die Bioverfügbarkeit von Metallen für gewöhnlich hoch. So können schwerlösliche, giftige Metalle in das Grundwasser gelangen (WOLKERSDORFER 2007). Neben dem pH-Wert ist die Löslichkeit ebenfalls von der Temperatur, der Ionenstärke, dem Druck und der Größe der Feststoffpartikel abhängig. So besitzen beispielsweise kleine Partikel eine sehr große spezifische

Oberfläche, das heißt es steht eine größere Grenzfläche für die Reaktion zwischen Feststoff und flüssiger Phase zur Verfügung (SIGG & STUMM 1989).

Den Gegensatz zur Pyritverwitterung stellt die Calcitlösung dar, welche die Azidität neutralisiert:



(FÖRSTNER & GRATHWOHL 2007)

Calcit und auch Dolomit puffern das Wasser in einem pH-Bereich von 6,5 bis 7,5 (WOLKERSDORFER 2007)

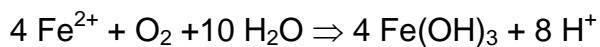
Da sich alle betrachteten Bergwerke in Kalksteinen befinden, spielt dieser Aspekt immer eine wesentliche Rolle. Allerdings ist er keine Garantie für unbelastetes Grubenwasser, da die Versauerung auch nur lokal auftreten kann und das saure Wasser auf dem weiteren Fließweg durch den Kalkstein von diesem neutralisiert wird. So kann das Wasser trotzdem gelöste Metalle enthalten, obwohl es einen neutralen pH-Wert aufweist. Deswegen müssen neben dem pH-Wert unbedingt auch die elektrische Leitfähigkeit und die Mineralisation beachtet werden. Sobald die Löslichkeit der Metalle überschritten wird, bilden sich Sekundärminerale. In ihnen werden die Metalle, bei zwischenzeitlich neutralen pH-Werten, gespeichert und können später wieder freigesetzt werden (FÖRSTNER & GRATHWOHL 2007).

Neben Karbonaten besitzen auch Feldspäte und Glimmer eine puffernde Eigenschaft. Allerdings ist zum einen die Wirkung geringer als von Karbonat, und zum anderen ist die Pufferwirkung von Silikaten auf die Adsorption von H<sup>+</sup>-Ionen an der Mineraloberfläche zurückzuführen. Das bedeutet, dass die Gesamtmenge der freigesetzten Säure gleich bleibt, es verlängert sich lediglich Zeitraum der Freisetzung. Nur Calcit ist in der Lage Säuren zu neutralisieren (KÖLLING 1990).

### 3.2 Eisen

Der Grenzwert für Eisen im Trinkwasser ist in der Trinkwasserverordnung auf 0,2 mg/L festgelegt (TVO, 2001). Dies beruht auf der Geschmacksveränderung von Wasser mit hohen Eisengehalten.

Des Weiteren verursacht ein hoher Eisengehalt technische Schwierigkeiten. Kommt eisenhaltiges Wasser mit Sauerstoff in Verbindung, wird das zweiwertige, gelöste Eisen zu dreiwertigem Eisen oxidiert, welches als Eisenhydroxid ausfällt. Dadurch kann es in Brunnenrohren zu Verockerungen kommen, wobei die Filterkiese zugesetzt werden (HÖLTING & COLDEWEY 2005). Bei der Verockerung handelt es sich um eine Redox-Reaktion, welche von der Temperatur, dem pH-Wert und dem Redox-Potential abhängig ist. Während der Oxidation von Eisen wird den Gewässern Sauerstoff entzogen, es entsteht durch die Freisetzung von Protonen saures Wasser und Eisenhydroxid fällt aus:



Dies hat einen negativen Einfluss auf das Ökosystem. Beispielsweise führt die Fällung von Eisen zur Trübung des Wassers, sodass die Futtersuche für im Wasser lebende Organismen erschwert wird. Gelangt reduziertes Eisen in die Kiemen von Fischen, so fällt es aus und die Tiere erstickten (PRANGE 2005).

Zu keinem der oben genannten Eisenerzabbaue konnten chemischen Wasseranalysen recherchiert werden. Aufgrund dessen ist eine Einschätzung der potentiellen Grundwassergefährdungen nicht möglich. Allgemein lässt sich sagen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung eher gering ist, da sich die Abbaue in karbonatreichen Gesteinen befinden und die Grubenwässer gut gepuffert sein dürften.

### 3.4 Blei/Zink

Blei ist in der Erdkruste mit einem Gehalt von bis zu 0,0002 % vertreten. Im Boden kann es häufig in sehr geringen Mengen angetroffen werden. Diese flächendeckende Verbreitung ist allerdings auf anthropogenen Eintrag zurückzuführen. Blei tritt in der Natur selten in elementarer Form auf. Das am häufigsten vorkommende Bleierz ist Galenit. Diese Bleiverbindung ist in neutralem Wasser und verdünnter Schwefelsäure nahezu unlöslich, erst bei pH-Werten um 4,5 und niedriger geht es in Lösung (DERSCHAU, 1995). Zu Erhöhung der Löslichkeit führt neben einem niedrigem pH-Wert auch ein hoher Kohlendioxidgehalt in der flüssigen Phase (HIRNER et al. 2000). Die geringe Mobilität ist durch die Eigenschaft bedingt, sich leicht an kolloidale

Teilchen zu binden, weshalb es sich in den obersten Bodenhorizonten und Sedimenten ansammelt (DERSCHAU 1995). Die Konzentration von Blei in Gesteinen wird durchschnittlich mit 20 bis 30 mg/kg angegeben (HIRNER et al. 2000).

Auf lebende Organismen hat Blei eine toxische Wirkung und ist nicht essentiell, wobei Pflanzen eine höhere Resistenz aufweisen als Menschen und Tiere (DERSCHAU, 1995). Bereits niedrige Konzentrationen von 50 bis 60 µg/100 mL Blei im Blut eines erwachsenen Menschen können gesundheitliche Schäden hervorrufen. Besonders bedenklich ist eine Aufnahme geringer Mengen über einen längeren Zeitraum hinweg (HIRNER et al. 2000). Um Gesundheitsschäden zu vermeiden wurde der Grenzwert in der Trinkwasserverordnung auf 0,1 mg/L festgelegt (TVO 2001). Der Maßnahmenschwellenwert der LAWA-Liste liegt bei 0,08 bis 0,2 mg/L (LAWA 1994). Der EG-Grenzwert richtet sich nach den Empfehlungen der WHO und der EPA und schreibt 0,05 mg/L vor (HIRNER et al. 2000).

Zink zählt zu den unedlen Spurenmetallen und tritt nie in elementarer Form auf. Es handelt sich um ein essentielles Spurenelement für alle Lebewesen. Bei Verwitterung bildet sich an der Oberfläche des Feststoffes eine Schicht aus Zinkoxid und Zinkkarbonat. Dadurch ist es vor weiterer Lösung geschützt. Beim Menschen treten erste gesundheitliche Beeinträchtigungen ab einer Aufnahme von 1 bis 2 g Zinksalzen oder 10 g Zinkoxid über den Magen auf. Allerdings ist die letale Dosis weitaus höher, sodass bisher kaum Todesfälle aufgrund von Überdosierung bekannt geworden sind. Wasserorganismen sind am anfälligsten gegenüber Zink. Wasserflöhe vertragen nicht mehr als 100 bis 300 µg/L, Forellen und Lachse 1 bis 5 mg/L. Pflanzen sind dagegen wesentlich unempfindlicher. Aufgrund der geringen Toxizität existiert für dieses Element kein Grenzwert für Trinkwasser. Ebenso sind für Zink kein EG-Grenzwert und keine EG-Richtzahl festgesetzt. Natürliches Mineralwasser darf maximal 0,1 mg/L aufweisen (WISCHMEIER-BAYER & BAYER 1995) und in der LAWA-Liste ist der Maßnahmenschwellenwert mit 0,5 bis 2 mg/L (LAWA 1994) angegeben.

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe nahm seit 1958 Proben von Bachwässern und Bachsedimenten für geochemische Prospektionsarbeiten und hat 1985 einen geochemischen Atlas der Bundesrepublik Deutschland herausgebracht. Im Zuge dieser Untersuchungen wurden statistisch verteilte Probennahmestellen ausgewählt, das gewonnene Probenmaterial analysiert und die Ergebnisse in Karten veranschaulicht. Die Karten wurden in isometrischer Darstellung abgebildet, um die

Konzentrationen dreidimensional darstellen zu können. Jede Säule repräsentiert die maximale Konzentration, die an der entsprechenden Lokalität gemessen wurde. Es zeigt sich, dass in der Nähe von Berchtesgaden hohe Blei- sowie auch Zinkkonzentrationen in Bachsedimenten auftreten (Abbildung 6 und Abbildung 7). Diese sind, zumindest zu einem gewissen Teil, auf die dort vorhandenen Blei-Zink-Vorkommen zurückzuführen (FAUTH et al. 1985).

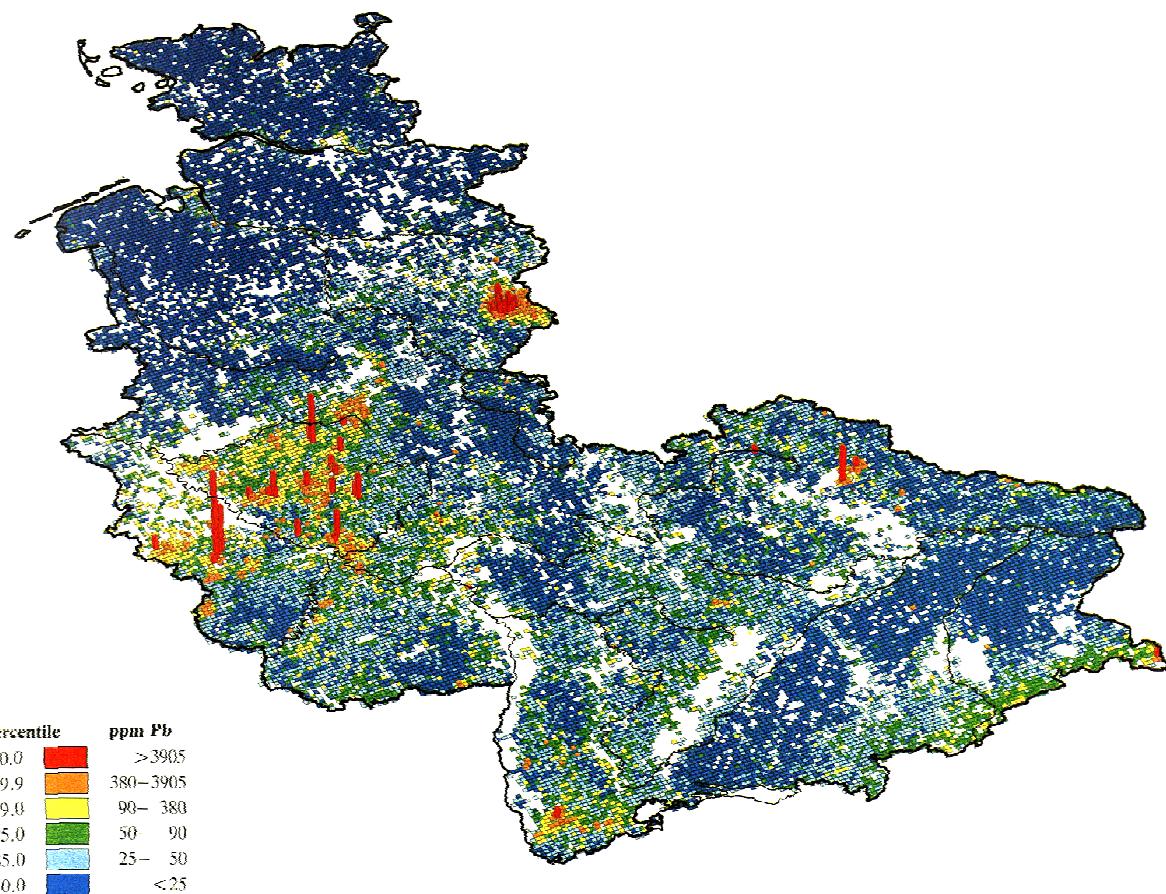


Abbildung 6: Maximale Konzentration an Blei in Bachsedimenten (aus FAUTH et al. 1985)

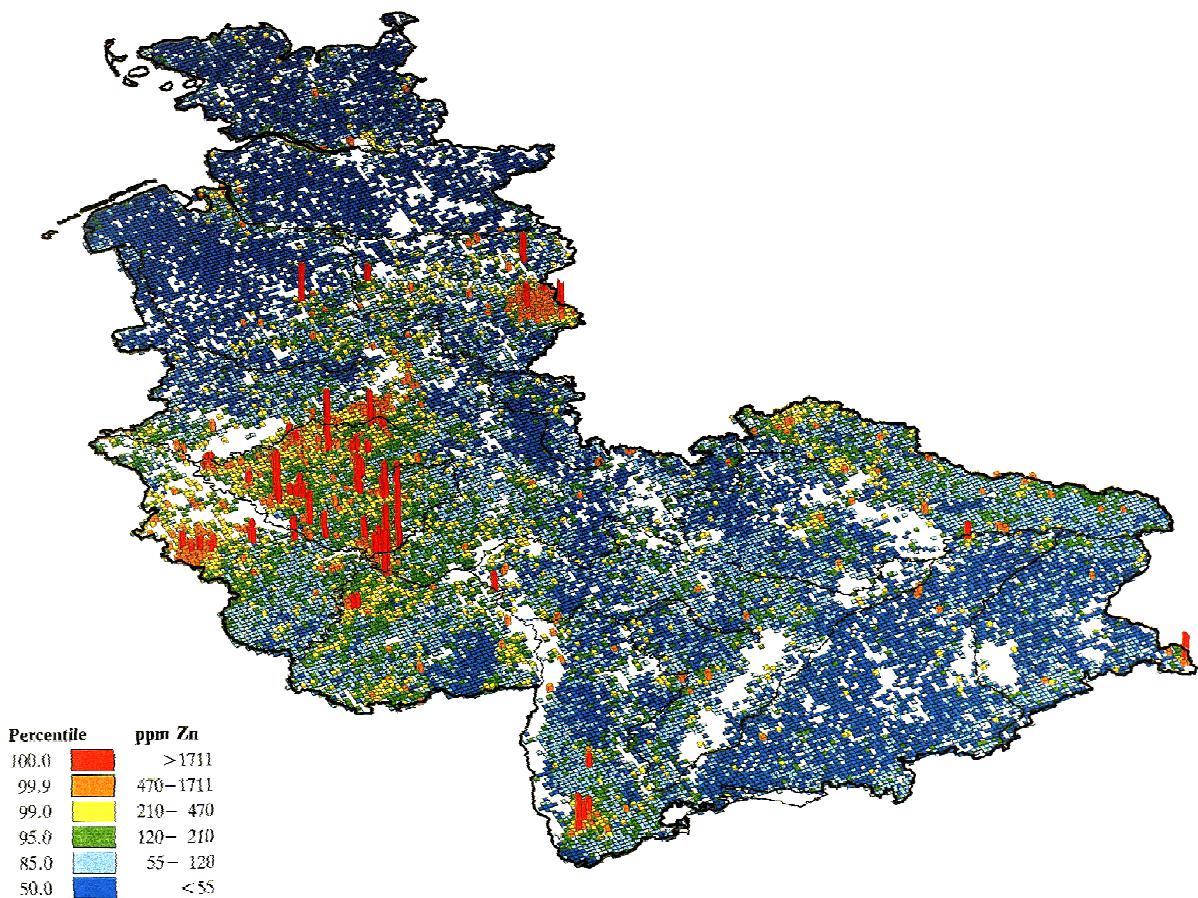


Abbildung 7: Maximale Konzentration an Zink in Bachsedimenten (aus FAUTH et al. 1985)

Andererseits lassen die Analysen der Bachwässer wiederum keinerlei Anomalien erkennen (Abbildung 8 und Abbildung 9; FAUTH et al. 1985). Studien haben gezeigt, dass die Sedimente von Gewässern einen Überblick über die im Wasser vorhandenen Schadstoffe geben, insbesondere wenn die Schadstoffe nur schwer löslich sind und in sehr geringen Mengen auftreten. Der Stoffeintrag in die Gewässer wird in den Sedimenten konserviert und lässt sich auch dann noch feststellen, wenn die Konzentrationen im Wasser für analytische Methoden zu niedrig sind (REICHERT & DE HAAR 1982). Da allerdings nur Bachwässer beprobt wurden, die womöglich von den eigentlichen Grubenwasseraustritten weit entfernt sind, und keine Grubenwasseraustritte selbst, ist dies noch lange kein hinreichender Beleg dafür, dass dort keine potentiellen Grundwassergefährdungen bestehen. Weitere Recherchen über möglicherweise durchgeführte Grubenwasseranalysen führten zu keinem Erfolg. So lassen sich nur Vermutungen über die potentielle Gefahr anstellen. Da sich die Erzvorkommen allesamt innerhalb von Kalkgesteinen befinden, dürfte

das Wasser gut gepuffert sein und keine niedrigen pH-Werte aufweisen. In diesem Fall gehen die schwerlöslichen Metalle Blei und Zink nicht in Lösung, sodass die Gefährdung als gering einzuschätzen ist.

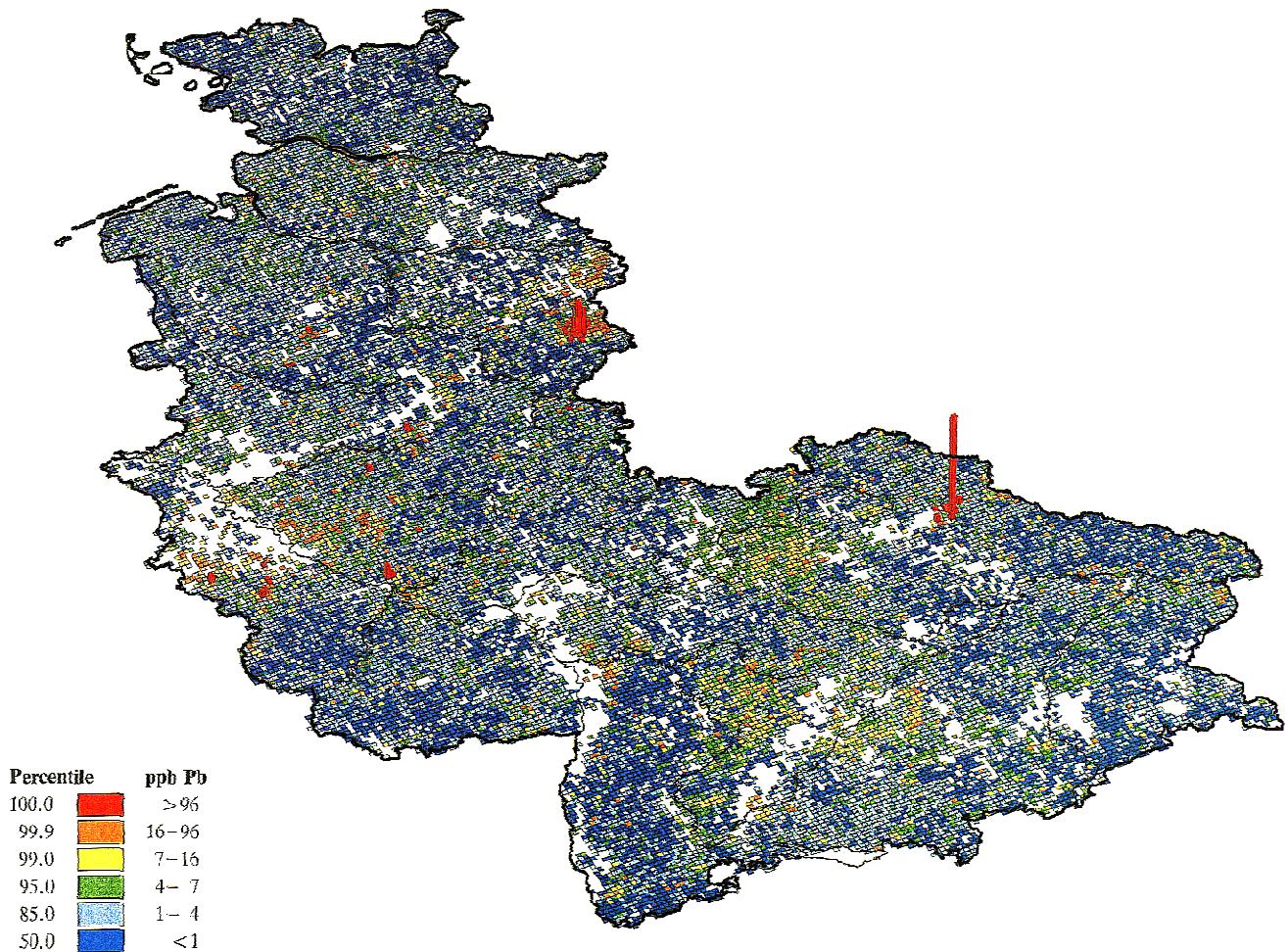


Abbildung 8: Maximale Konzentration an Blei in Bachwässern (FAUTH et al.1985)

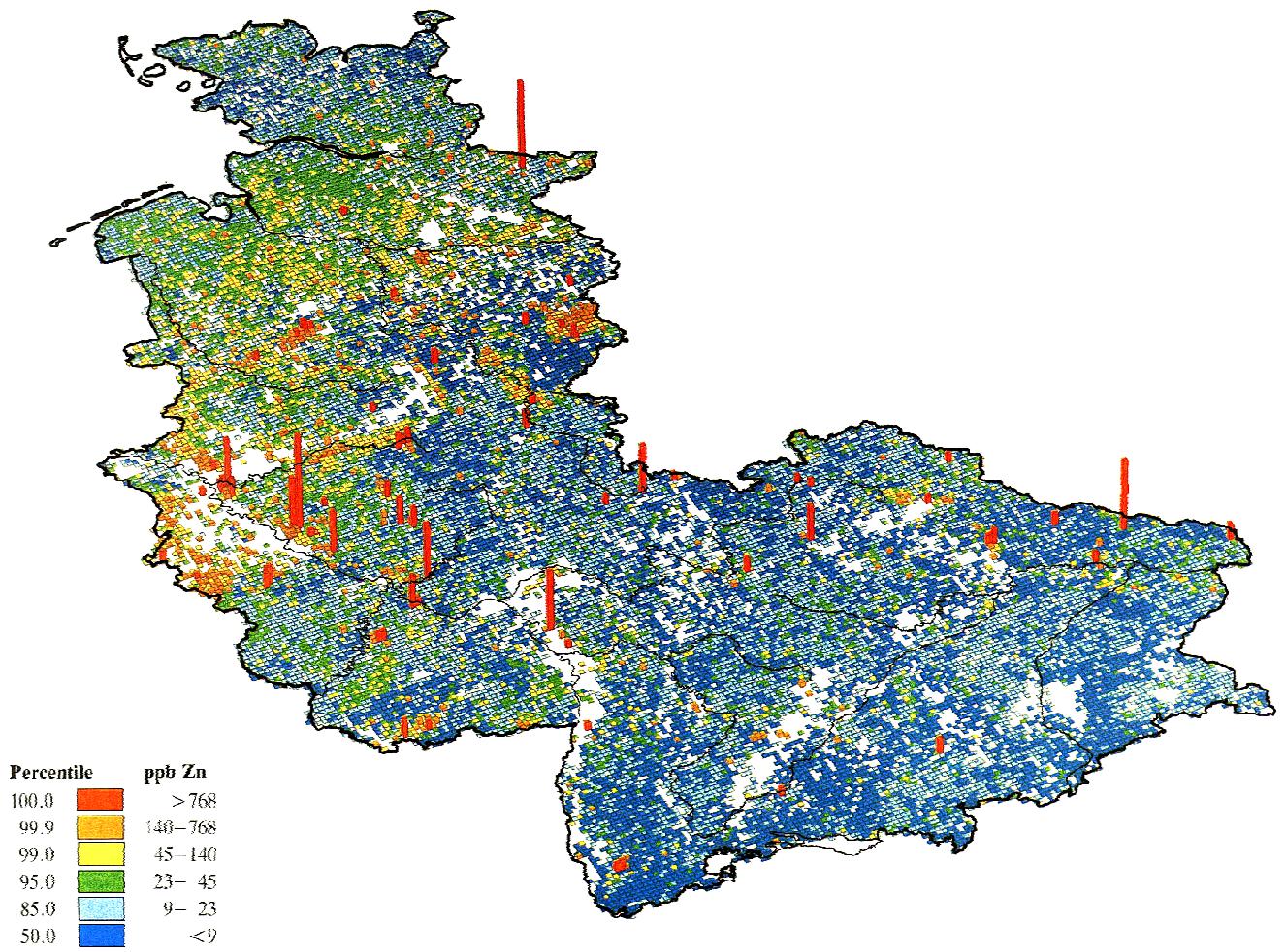


Abbildung 9: Maximale Konzentration an Zink in Bachwässern (aus FAUTH et al. 1985)

### 3.4 Mangan

Mangan ist mit einem durchschnittlichen Gehalt von 0,1 % in der Erdkruste am zwölfthäufigsten vertreten. In der Natur ist es oft als Spurenmetall zu finden. Dort kommt es aber nie in elementarer Form vor, weil es ein unedles Metall ist. Mangan und Eisen haben sehr ähnliche physikalische und chemische Eigenschaften, weshalb beide häufig miteinander auftreten. Die Verbindungen Manganoxid, Mangankarbonat, Mangansulfid und Manganmetasilicat sind im Wasser kaum löslich, wohingegen Mangansulfat, Manganchlorit, Mangannitrat und das Permanganat-Ion leicht im Wasser in Lösung gehen. Die Bioverfügbarkeit ist direkt abhängig vom pH-Wert. Für alle Lebewesen ist es ein essentielles Spurenelement. Gegenüber erhöhten Mangangehalten zeigen Pflanzen wie auch Tiere eine relativ hohe

Toleranzgrenze, die bei weit über 1000 ppm liegt. Bei Menschen treten vor allem Erkrankungen bei berufsbedingter Einnahme über die Atemwege auf. Außer einer Massenvergiftung aufgrund von Quellwasser, das durch Trockenbatterien verseucht war, sind keine weiteren Vorkommnisse bekannt (Rumpf 1995). Die Trinkwasserverordnung wie auch der EG-Grenzwert schreiben einen Maximalwert von 0,05 mg/L vor (TVO 2001). Die EG-Richtzahl liegt bei 0,02 mg/L (RUMPF 1995). Zu dem Manganerzabbau am Jenner konnten keine chemischen Wasseranalysen recherchiert werden. Aufgrund dessen ist eine Einschätzung der potentiellen Grundwassergefährdungen nicht möglich. Allgemein lässt sich sagen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung eher gering ist, da sich der Abbau in karbonatreichen Gesteinen befindet und die Grubenwässer gut gepuffert sein dürften.

### 3.5 Salz

Im Salzbergwerk selbst gibt es keine Grubenwässer im engeren Sinne. Das Bergwerk muss mit aufwändiger und kostenintensiver Technik entwässert werden, um den abzubauenden Salzstock trocken zu halten und vor Lösung zu schützen. Die Gewinnung des Salzes erfolgt mittels dem von Ambatiello entwickelten, kombinierten Bohr- und Spül-Verfahren (AMBATIELLO & NEY 1983). Das gelöste Salz wird in einer Soleleitung über Hallturm nach Bad Reichenhall gepumpt. Die Sole aus dem Salzbergwerk Berchtesgaden und die Sole des Reichenhaller Beckens, die über neun Bohrungen erschlossen ist, werden dann in der Saline von Bad Reichenhall verkocht. Das verdampfte Wasser entweicht durch den Schornstein und das Salz bleibt zurück. Da es einerseits keine Grubenwasseraustritte gibt und andererseits aktive Bergwerke strengen Umweltauflagen unterliegen, besteht keine akute Gefahr für das Grundwasser.

### 3.6 Quecksilber

Die durchschnittliche Konzentration von Quecksilber in der Erdkruste beträgt 0,02 mg/kg. Davon werden jährlich weltweit 500 bis 5000 t durch Gesteinsverwitterung freigesetzt. Das Metall liegt unter Raumtemperatur in flüssiger Form vor, ist aber in Wasser so gut wie unlöslich, wobei metallisches Quecksilber

eine hohe Fettlöslichkeit aufweist. Allerdings reagiert Quecksilber bei Kontakt mit Sauerstoff und Wasser zu Quecksilberoxid, welches sich in neutralem Wasser in leicht lösliche Salze umwandelt. In dieser Form ist der Transport in tiefere Bodenschichten und in das Grundwasser möglich (BERTELSBECK 1995). Die Komplexierung an unösliche Huminstoffe wirkt der tieferen Verfrachtung entgegen. Durch die Affinität zu organischem Material ist die Mobilität in Bezug auf den Schadstofftransport im Grundwasser gering (HIRNER et al. 2000). Im Vergleich mit der Schadstoffverbreitung in der Luft spielt der Wassertransport eine untergeordnete Rolle (BERTELSBECK 1995). Quecksilber ist ein hochtoxisches Edelmetall, das oft als das problematischste aller Metalle bezeichnet wird. Es kann sich stark in der Nahrungskette anreichern. Dies gilt vor allem für im Wasser lebende Organismen. Die häufigste in Wasser vorkommende Spezies ist  $\text{Hg}^{2+}$  (HIRNER et al. 2000). Im menschlichen Darm werden metallisches Quecksilber nur zu 0,01 % und anorganische Quecksilberverbindungen zu 7 % aufgenommen. Organische Quecksilberverbindungen sind dagegen in der Lage, fast vollständig durch die Darmwand zu diffundieren. Dort bindet es sich bevorzugt an rote Blutkörperchen und wird über die Blutbahn im gesamten Körper verteilt. Eine Quecksilbervergiftung führt zur Störung fast aller Zellfunktionen und des Erbgutes (BERTELSBECK 1995). Die töxische Dosis liegt bei dem Menschen etwa um 8 mL. Ab einem Wert von 0,1 bis 1 mg/L wirkt Quecksilber für Fische akut toxisch (HIRNER et al. 2000). Die Trinkwasserverordnung schreibt einen Grenzwert von 0,001 mg/L vor (TVO 2001), ebenso wie der EG-Grenzwert (BERTELSBECK 1995), während die LAWA-Liste den Maßnahmenschwellenwert erst bei 0,002 bis 0,005 mg/L ansetzt (LAWA 1994). Zu dem Quecksilbervorkommen am Walchensee konnten keine chemischen Wasseranalysen ermittelt werden, daher ist eine Abschätzung des Gefahrenpotentials nicht möglich. Aufgrund der hohen Toxizität ist aber eine Grundwassergefährdung nicht auszuschließen, auch wenn Quecksilber im Wasser eine geringe Mobilität aufweist. Es wäre vor allem wichtig, die austretende Menge des Quecksilbers exakt zu bestimmen.

### 3.7 Pechkohle

Das Kohlebergwerk Peißenberg ist das einzige Bergwerk zu dem chemische Wasseranalysen vorlagen (vgl. Anhang 2). Es wurden der Tiefstollen mehrmals an

unterschiedlichen Stellen und der Mittelstollen einmalig beprobt. Erstaunlicherweise sind die austretenden Wässer hoch mineralisiert. Überschreitungen, der in der Trinkwasserverordnung angegebenen Grenzwerte wurden bei den Elementen Sauerstoff, Natrium und Sulfat festgestellt. Vor allem der Sulfatgehalt mit etwa 1540 mg/L sticht besonders heraus. Nach der Trinkwasserverordnung ist eine maximale Konzentration von 240 mg/L  $\text{SO}_4^{2-}$  festgeschrieben. Solch hohe Werte können durch Oxidation von Sulfiden, wie zum Beispiel Pyrit, oder Reduktion von  $\text{H}_2\text{S}$  hervorgerufen werden. Negative Folgen sind eine abführende Wirkung auf Lebewesen und eine verstärkte Korrosion (KNOPP 2006). Aus diesem Grund übersteigt ebenfalls die elektrische Leitfähigkeit den Grenzwert der Trinkwasserverordnung. Alle anderen Werte befinden sich innerhalb der tolerierbaren Grenzen. Allerdings muss angemerkt werden, dass der Eisengehalt nicht direkt im Gelände bestimmt wurde und somit verfälscht sein kann. Da aus dem Stollenmundloch dreiwertiges Eisen aus dem Wasser ausfällt und dieses rot färbt, ist anzunehmen, dass die Eisenkonzentration höher ist, als in den Analysen angegeben. Dieser Fall zeigt deutlich, dass auch innerhalb von Kalkstein hohe Mineralisationen auftreten können, obwohl das Wasser durch den Kalkstein gepuffert wird und keine niedrige pH-Werte auftreten. In diesem Fall liegt eindeutig eine Grundwassergefährdung vor.

## 4 Schlussbemerkung

Während der Recherche wurde deutlich, wie wichtig es ist, die Grubenwasseraustritte zu erfassen und genaueren Untersuchungen zu unterziehen. Da es von gesetzlicher Seite bisweilen keine Vorschrift gibt, die Grubenwässer aus ehemaligen Bergbauen zu überwachen, stellte es sich als äußerst schwierig heraus, genauere Informationen über dieselbigen zu erlangen. Im Allgemeinen herrscht eine weit verbreitete Unkenntnis über die möglichen Gefahren vor, die von Grubenwässern ausgehen können. Des Weiteren kommt hinzu, dass der bayerische Bergbau in den meisten Fällen schon viele Jahrzehnte bis Jahrhunderte zurückliegt und das Wissen über diesen verloren gegangen ist. Oft beschränkten sich die Unternehmungen auf Versuchsbaue, die nur spärlich dokumentiert sind. „Von einer großen Anzahl solcher Bergbauversuche sind uns naturgemäß weder Spuren im Gelände, noch schriftliche Aufzeichnungen oder mündliche Überlieferungen erhalten geblieben“ (Mayer 1924) Aus diesem Grund ließen sich viele Gruben nicht genau lokalisieren, wodurch eine Abschätzung der Gefährdung nicht möglich ist. Auch die Bewertung der hydrogeologischen Situation anhand von Literatur gestaltete sich schwierig, da sich die meisten Werke mit der Genese der Erze beschäftigen und die Hydrogeologie außer Acht lassen. Die Möglichkeiten der Literaturrecherche wurden weitestgehend ausgeschöpft und doch konnte kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden. Als nächsten Schritt müssten zukünftige Bearbeiter dieses Themas die aufgelisteten Gruben im Gelände aufsuchen und mittels GPS lokalisieren. Um konkrete Aussagen über potentielle Grundwassergefährdungen treffen zu können, ist es unabdingbar selbst Proben zu nehmen und zu analysieren.

## Literaturverzeichnis

AMBATIELLO, P. & NEY, P. (1983): The Berchtesgaden Salt Mine, in: Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe. – S. 146 - 154; Springer (Berlin, Heidelberg)

ANONYMOUS (o. J. a): Salz aus Bayern – 38 S.; Salzbergwerk Berchtesgaden (Berchtesgaden)

ANONYMOUS (o. J. b): [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de) - Stand: August 2008

ANONYMOUS (o. J. c): [www.uok.bayern.de](http://www.uok.bayern.de); Umweltobjektkatalog – Stand: August 2008; Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (München)

ANONYMOUS (1937): Hundert Jahre Kohlenbergwerk Peißenberg, 1837-1937 – 64 S.; Bayerische-Berg-Hütten-und Salzwerke AG (München)

ANONYMOUS (1979): Rohstoffprogramm für Bayern, Programm zur Erschließung und Sicherung der Vorkommen mineralischer Rohstoffe und ihrer Gewinnung – 129 S.; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr (München)

BERTELSBECK, N. (1995): Quecksilber; in: Schadstoffe im Wasser? Band 2: Schwermetalle und weitere Einzelparameter – S. 143 - 151; VAS - Verlag für Akademische Schriften (Frankfurt/Main)

DERSCHAU, D. von (1995): Blei; in: Schadstoffe im Wasser? Band 2: Schwermetalle und weitere Einzelparameter – S. 81 - 88; VAS - Verlag für Akademische Schriften (Frankfurt/Main)

DOBEN, K. & RISCH H. (1996): Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000 – 329 S.; Bayerisches Geologisches Landesamt (München)

FAUTH, U.; HINDEL, R.; SIEWERS, U. & ZINNER, J. (1985): Geochemischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland, Verteilung von Schwermetallen in Wässern und Bachsedimenten – 79 S.; Schweizerbart (Stuttgart)

FÖRSTNER, U. & GRATHWOHL, P. (2007): Ingenieурgeochemie, Technische Geochemie - Konzepte und Praxis – 471 S.; Springer-Verlag (Berlin, Heidelberg)

FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER G. (1970): Sedimentpetrologie Teil 2, Sedimente und Sedimentgesteine – 726 S.; Schweizerbart (Stuttgart)

GESELLSCHAFT ZUR AUFSUCHUNG VON BODENSCHÄTZEN IN BAYERN (o. J.): Bericht über die Aufsuchung von Mineralien und Wasser in Bayern von 1951 bis 1962 – 85 S.; Akademische Buchdruckerei F. Straub (München)

GILLITZER, G. (1914): Geologie der alpinen Salzlager im Berchtesgadener Gebiet mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Solquellen, in: Zeitschrift für praktische Geologie, mit besonderer Berücksichtigung der Lagerstättenkunde, 22. Jahrgang 1914 – S. 263 - 272; Springer (Berlin, Heidelberg)

GUDDEN, H. (1969): Über Manganerzvorkommen in den Berchtesgadener und Salzburger Alpen, in: Erzmetall, Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhüttenwesen, Band 22, 1969, Heft 10 – S. 482 - 488; Dr. Riederer Verlag GmbH (Stuttgart)

GÜMBEL, C.W. (1861): Geognostische Beschreibung des bayerischen Alpengebirges und seines Vorlandes – 950 S.; Verlag von Justus Perthes (Gotha)

HAGN, H. & WELLNHOFER, P. (1972): Der Kressenberg – eine berühmte Fossillagerstätte des bayerischen Alpenvorlandes. – 35 S.; Verein zum Schutze der Alpenpflanzen und -Tiere e.V. (München)

HIRNER, A. V.; REHAGE, H. & SULKOWSKI, M. (2000): Umweltgeochemie; Herkunft, Mobilität und Analyse von Schadstoffen in der Pedosphäre – 836 S.; Steinkopff (Darmstadt)

HÖLTING, B. & COLDEWEY, W. G. (2005): Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie – 326 S.; Elsevier GmbH (München)

KELLERBAUER, S. (1996): Zur Geologie und Geomechanik der Salzlagerstätte Berchtesgaden – 161 S.; TU München (Dissertation)

KNOPP, D. (2006): Hydrogeologie II, Hydrochemisches Praktikum für Geowissenschaftler, Wasseruntersuchungen und graphische Darstellung der Analysenergebnisse – 81 S.; TU München (Vorlesungsskript)

KÖLLING, M. (1990): Modellierung geochemischer Prozesse im Sickerwasser und Grundwasser, Beispiel: Die Pyritverwitterung und das Problem saurer Grubenwässer; Berichte aus dem Fachbereich Geowissenschaften der Universität Bremen Nr. 8 – 136 S.; Universität Bremen (Dissertation)

LANGENSCHEID, E. (2001): Geologie der Berchtesgadener Berge, Eine Einführung in Stratigraphie, Fazies und Tektonik. – 160 S.; E. Melcher GmbH & Co KG (Berchtesgaden)

LAUBMANN, H. (1924): Die Minerallagerstätten von Bayern r. d. Rh. – 110 S.; Piloty & Loehle (München)

LAWA (1994): Prüf- und Maßnahmenschwellenwerte für Leitparameter im Grundwasser – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser

LENSCH, G. (1961): Stratigraphie, Fazies und Kleintektonik der Kohleführenden Schichten in der bayerischen Faltenmolasse (Peißenberg, Peiting, Penzberg, Hausham, Marienstein); in: Geologica Bavaria 45 – S. 3 - 52; Bayerisches Geologisches Landesamt (München)

MAUCHER, A. (1954): Zur „alpinen Metallogenese“ in den bayerischen Kalkalpen zwischen Loisach und Salzach, in: Tschermaks mineralogische und petrographische Mitteilungen. Band 4, dritte Folge, Jahrgang 1954 – S. 454 - 463, Springer (Wien)

MAYER, F. (1924): Alte Erzbergbauversuche in Bayern; in Das Bayerland, Nummer 15, 35. Jahrgang, November 1924 – S. 373 - 376; Verlag „Das Bayerland“ (München)

PÖVERLEIN, R. (1984): Mineralien von den Halden am Kienberg bei Inzell, Bayern; in: Lapis, 9. Jahrgang, 1984, Heft 1 – S. 11 - 14; Christian Weise Verlag (München)

PRANGE, H. (2005): Die ökologische Bedeutung der Verockerung und ihre Relevanz für die Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie – 7 S.; Universität Bremen (Handout zu Projektarbeit)

RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1997): Abfallrahmenrichtlinie 75/442/EWG

RAT DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS (2000): Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG

REICHERT, J. & DE HAAR, U. (1982): Schadstoffe im Wasser, Band I: Metalle – 446 S.; Harald Boldt Verlag (Boppard)

REISER, K. A. (1895): Geschichte des Blei- und Galmei-Bergwerks am Rauschenberg und Staufen in Oberbayern, Beilage zum vierten Jahresbericht der Kgl. Luitpold-Kreisrealschule in München – 71 S.; Kgl. Hof- und Universitäts-Buchdruckerei von Dr. C. Wolf & Sohn (München)

RUMPF, C. (1995): Mangan; in: Schadstoffe im Wasser? Band 2: Schwermetalle und weitere Einzelparameter – S. 67 - 72; VAS - Verlag für Akademische Schriften (Frankfurt/Main)

SCHMEDERER, J: (1995): Wasserwirtschaftliche Aspekte bei der Stilllegung bayerischer Uranbergbauanlagen, in: Uranium-Mining and Hydrogeology, Band 1 – S. 519 - 524, Sven von Loga (Köln)

SCHMID, H. & WEINELT, W. (1978): Lagerstätten in Bayern; Erze, Industriemineralen, Salze und Brennstoffe; Geologica Bavaria 77 – 160 S.; Bayerisches Geologisches Landesamt (München)

SCHNEIDER, H. J. (1953): Lagerstättenkundliche Untersuchungen am Oberen Wettersteinkalk der bayerischen Kalkalpen östlich der Loisach – 131 S.; Universität München (unveröffentlichte Dissertation)

SCHWARZ, K. (1978): Frühgeschichtlicher Bergbau im Eisenerzrevier am Kressenberg, am Freibergl und am Schwarzenberg bei Neukirchen, Ldkr. Laufen; in: Führer zu Vor- und Frühgeschichtlichen Denkmälern, Band 19 – S. 96 - 125; Verlag Ph. V. Zabern (Mainz)

SCHWARZ, P. (1992): Das Molybdänbergwerk Höllental 1907-1925, Ringen um einen seltenen Rohstoff; Abhandlungen und Berichte, Neue Folge, Band 9 – 240 S.; Deutsches Museum (München)

SIGG, L. & STUMM, W. (1989): Aquatische Chemie, eine Einführung in die Chemie wässriger Lösungen und in die Chemie natürlicher Gewässer – 388 S.; Verlag der Fachvereine (Zürich)

SPARY (1919): Die Eisenerzgrube der Gewerkschaft Achtal; Gutachten über die Eisenerzgrube Achtal von Oberbergrat Spary. – 16 S.; Loseblattsammlung aus dem Archiv des Bergbaumuseums Achtal (Teisendorf)

TVO (2001): Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001 – 46 S.; Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches DVGW

WEISS, S. (1982): Bergbau am Riedbodeneck, Die Mineralien des alten Bergwerks am Riedbodeneck/Mittenwald; in: Lapis, Jahrgang 7, 1982, Heft 2, – S. 9 - 13; Christian Weise Verlag (München)

WINKLER, S. (1990): Der Bayerische Erzbergbau am Teisenberg – 34 S.; Förderverein Bergbaumuseum Achtal (Teisendorf)

WINKLER, S. (1999): Der Salzburger Erzbergbau am Teisenberg – 34 S.; Förderverein Bergbaumuseum Achtal (Teisendorf)

WISCHMEIER-BAYER, M. & BAYER, E. (1995): Zink; in: Schadstoffe im Wasser? Band 2: Schwermetalle und weitere Einzelparameter – S. 166 - 173; VAS - Verlag für Akademische Schriften (Frankfurt/Main)

WOLFF, H. (1985): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000; Erläuterungen zum Blatt Nr. 8338 Bayrischzell – 90 S.; Bayerisches Geologisches Landesamt (München)

WOLKERSDORFER, CH. (2007): Montanhydrogeologie, Vom Grundwasser zum Grubenwasser – 153 S.; Ludwig-Maximilians-Universität München (Vorlesungsskript)

Wolkersdorfer, C., Younger, P. L., & Bowell, R. (2006): PADRE – Europäische Partnerschaft für die Sanierung saurer Grubenwässer (Partnership for Acid Drainage Remediation in Europe); Wissenschaftliche Mitteilungen 31 – S. 213-217; Freiberg.

ZIEGLER, J. H. (1983): Eocene Iron Ore Deposits at the Northern Welt of the Bavarian Alps; in: Mineral Deposits of the Alpine Epoch in Europe. – S. 136 - 145; Springer (Berlin, Heidelberg)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ehemalige Bergbauhalde am Rauschenberg im Jahre 2002 (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de); S. 15

Abbildung 2: Stollen am Riedbodeneck Mitte der 80-er Jahre (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de)); S. 18

Abbildung 3: Austretendes Grubenwasser am Riedbodeneck Mitte der 80-er Jahre (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de)); S 20

Abbildung 4: Historische Postkarte des Höllentales (aus [www.mineralienfreunde.de](http://www.mineralienfreunde.de)); S. 22

Abbildung 5: Löslichkeit von Eisen (aus SIGG & STUMM 1989); S. 39

Abbildung 6: Maximale Konzentration an Blei in Bachsedimenten (aus FAUTH et al. 1985); S. 43

Abbildung 7: Maximale Konzentration an Zink in Bachsedimenten (aus FAUTH et al. 1985); S 44

Abbildung 8: Maximale Konzentration an Blei in Bachwässern (FAUTH et al. 1985); S. 45

Abbildung 9: Maximale Konzentration an Zink in Bachwässern (aus FAUTH, HINDEL et al. 1985); S. 46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Namen der Flöze am Kressenberg (aus SCHWARZ 1978); S. 10

Tabelle 2: Verzeichnis der Stollen am Rauschenberg (aus REISER 1895); S. 15

Tabelle 3: Verzeichnis der Stollen am Staufen (aus REISER 1895); S. 16

Tabelle 4: Minerale des Bergbaues Rauschenberg (aus PÖVERLEIN 1984); S. 17

Tabelle 5: Minerale des Bergbaues am Riedbodeneck (aus PÖVERLEIN 1984); S. 21

Tabelle 6: Auflistung der Stollen des Bergwerkes Höllental (aus SCHWARZ 1992); S. 26

Tabelle 7: Minerale des Bergbaues Höllental (aus SCHWARZ 1992); S. 27

Tabelle 8: Evaporitische Hauptminerale des Salzbergwerkes Berchtesgaden (aus KELLERBAUER 1996); S. 32

Tabelle 9: Nichtsalinare Begleitminerale des Salzbergwerkes Berchtesgaden (aus KELLERBAUER 1996); S. 32

Tabelle 10: Evaporitische Nebenbestandteile des Salzbergwerkes Berchtesgaden (aus KELLERBAUER 1996); S. 32

Tabelle 11: Bedeutendste Grubenbaue von Peißenberg (aus ANONYMOUS 1937); S. 35

Tabelle 12: Schichtenfolge der Peißenberg-Peitinger Kohleformation (aus LENSCHE 1961); S. 35

**Anhang 1: Prüf- und Maßnahmenschwellenwerte für Leitparameter im Grundwasser (LAWA 1994)**

Parameter	Einheit	Prüfwert	Maßnahmenschwellenwert
Antimon (Sb)	µg/l	2 - 10	20 - 60
Arsen (As)	µg/l	2 - 10	20 - 60
Barium (Ba)	µg/l	100 - 200	400 - 600
Blei (Pb)	µg/l	10 - 40	80 - 200
Cadmium (Cd)	µg/l	1 - 5	10 - 20
Chrom, gesamt (Cr)	µg/l	10 - 50	100 - 250
Chrom VI (Cr)	µg/l	5 - 20	30 - 40
Kobalt (Co)	µg/l	20 - 50	100 - 250
Kupfer (Cu)	µg/l	20 - 50	100 - 250
Molybdän (Mo)	µg/l	20 - 50	100 - 250
Nickel (Ni)	µg/l	15 - 50	100 - 250
Quecksilber (Hg)	µg/l	0,5 - 1	2 - 5
Selen (Se)	µg/l	5 - 10	20 - 60
Zink (Zn)	µg/l	100 - 300	500 - 2000
Zinn (Sn)	µg/l	10 - 40	80 - 200
Cyanid, gesamt (CN-)	µg/l	30 - 50	100 - 250
Cyanid, frei (CN-)	µg/l	5 - 10	20 - 50
Fluorid (F-)	µg/l	500 - 1500	2000 - 3000
PAK, gesamt <sup>1)</sup>	µg/l	0,1 - 0,2	0,4 - 2
Naphthalin als Einzelstoff	µg/l	1 - 2	4 - 10
LHKW, gesamt <sup>2)</sup>	µg/l	2 - 10	20 - 50
3 LHKW, karzinogen <sup>3)</sup>	µg/l	1 - 3	5 - 15
PBSM, gesamt <sup>4)</sup>	µg/l	0,1 - 0,5	1 - 3
PCB, gesamt <sup>5)</sup>	µg/l	0,1 - 0,5	1 - 3
Kohlenwasserstoffe <sup>6)</sup> (außer Aromaten)	µg/l	100 - 200	400 - 1000
BTX-Aromaten, gesamt <sup>7)</sup>	µg/l	10 - 30	50 - 120
Benzol als Einzelstoff	µg/l	1 - 3	5 - 10
Phenole, wasserdampfflüchtig	µg/l	10 - 20	30 - 100
Chlorphenole, gesamt <sup>8)</sup>	µg/l	0,5 - 1	2 - 5
Chlorbenzole, gesamt <sup>8)</sup>	µg/l	0,5 - 1	2 - 5

1) PAK, gesamt: Summe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe, in der Regel Summe von 16 Einzelsubstanzen nach der Liste der US Environmental

- Protection Agency (EPA) ohne Naphthalin; ggf. unter Berücksichtigung weiterer relevanter Einzelstoffe (z.B. Methylnaphthaline)
- 2) LHKW, gesamt: Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe, d.h. Summe der halogenierten C1- und C2-Kohlenwasserstoffe
  - 3) 3 LHKW, karzinogen: besondere Festlegung für die Summe der erwiesenermaßen karzinogenen LHKW Tetrachlormethan ( $CCl_4$ ), Chlorethen (Vinylchlorid,  $C_2H_3Cl$ ) und 1,2-Dichlorethan
  - 4) PBSM, gesamt: Organisch-chemische Stoffe zur Pflanzynbehandlung und Schädlingsbekämpfung einschließlich ihrer toxischen Hauptabbauprodukte
  - 5) PCB, gesamt: Summe der polychlorierten Biphenyle; in der Regel 6 nach Ballschmiter (bzw. Altöl-VO), ggf. unter Berücksichtigung weiterer relevanter Einzelstoffe
  - 6) Bestimmung mittels IR-Spektroskopie nach DIN 38409-H18
  - 7) BTX-Aromaten, gesamt: Leichtflüchtige aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Xyrole, Ethylbenzol, Styrol, Cumol etc.); besondere Festlegung für Benzol
  - 8) Wenn ein PBSM (z.B. PCP, HCB) oder ein Abbauprodukt eines PBSM vorliegt, dann gelten die o.a. Prüf- bzw. Sanierungsschwellenwerte für PBSM

## Anhang 2: Wasseranalysen des Kohlebergwerkes Peißenberg